

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

机械制造技术基础

主 编

周宏甫

副主编

倪小丹

贾晓林

参 编

孙有亮

李 志

李海波

宗荣珍

黄卫东



高等教育出版社

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

本书为适应应用型教育机械设计制造及其自动化专业的人才培养目标,贯彻重基础、少学时、低重心、新知识、宽面向的改革思路,以机械加工工艺为主线,对机械制造技术的基础知识、基本理论、基本方法等有机整合后撰写而成,全书除绪论外分为 6 章,内容包括机械加工工艺装备、金属切削基本原理、工艺规程设计、典型零件加工、机械制造质量分析与控制、先进制造技术简介等。

本书可作为高等工科院校应用型教育机械设计制造及其自动化专业的教材,也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校等相关专业的教材以及从事机械制造的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术基础/周宏甫主编. —北京:高等教育出版社, 2004.3

ISBN 7-04-013054-8

I. 机... II. 周... III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 001022 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	24.5	印 次	年 月第 次印刷
字 数	460 000	定 价	28.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要,满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求,探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系,全国高等学校教学研究中心(以下简称“教研中心”)在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上,组织全国100余所培养应用型人才为主的高等院校,进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索,在高等院校应用型人才培养的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果,并在高等教育出版社的支持和配合下,推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材,冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月,教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项,为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台,整体设计立项研究计划,明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式,分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现,组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组(亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组)。会后,教研中心组织了首批课题立项申报,有63所高校申报了近450项课题。2003年1月,在黑龙江工程学院进行了项目评审,经过课题领导小组严格的把关,确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月,各子课题相继召开了工作会议,交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题,确定了项目分工,并全面开始研究工作。计划先集中力量,用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才培养特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是,“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才培养探索与实践成果基础上,紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要,努力实践,大胆创新,采取边研究、边探索、边实践的方式,推进高校应用型人才培养工作,突出重点目标,并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础,作为体现教学内容和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003 年 4 月

前言

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

机械制造技术基础是机械设计制造及其自动化专业的一门主干专业技术基础课。本书为适应应用型本科教育机械专业人才培养目标的需要,总结了各高等学校近年来教学改革的探索与实践经验,贯彻重基础、少学时、低重心、新知识、宽面向的改革思路,以机械加工工艺为主线,对机械制造技术的基础知识、基本理论、基本方法等有机整合后撰写而成。除绪论外分为6章,内容包括机械加工工艺装备、金属切削基本原理、工艺规程设计、典型零件加工、机械制造质量分析与控制、先进制造技术简介等。

为适应培养生产一线应用型机械专业人才的需要,本书强调应用性和能力的培养。有关金属切削机床与刀具设计等方面的知识本书一般不予涉及,增加了典型零件的加工方法与工艺分析、夹具设计的基础知识等内容。本书注重工艺原理的实际应用,力求理论联系实际,尽可能多地引用典型实例进行分析,以加深对所述内容的理解;同时尽量多用图、表来表达叙述性的内容,力求以较少的篇幅完成对所需内容的介绍。本书还介绍了先进制造技术的基本理念与发展趋势,以扩大视野,开阔思路。

本课程的实践性很强,课程的教学必须与金工实习、实验、生产实习以及课程设计等实践性教学环节密切配合,要尽量采用多媒体等现代化的教育手段与教学方法,以期达到较理想的教学效果。

本书由福建工程学院周宏甫任主编并统稿,湖南工程学院倪小丹、南京工程学院贾晓林任副主编。绪论由周宏甫编写,第1章由河北建筑工程学院孙有亮和本书的两位副主编贾晓林、倪小丹编写,第2章由徐州工程学院李志编写,第3章由福建工程学院黄卫东、南阳理工学院宗荣珍编写,第4章由孙有亮、周宏甫、宗荣珍编写,第5章由长春工程学院李海波、周宏甫编写,第6章由贾晓林编写。全书由天津大学张世昌教授审阅。

应用型机械类系列教材编写委员会对本书的编写提供了有益的指导和帮助,在此表示衷心感谢。

应用型本科教育的教学改革是一项艰巨的系统工程。由于编者的水平有

限编写时间又较紧迫,书中难免有错漏及不当之处,诚恳希望各位读者给予批评指正。

编者

2003 年 10 月

目 录

绪论	1
0.1 制造业与制造技术	1
0.2 制造过程	4
0.3 零件(毛坯)成形方法	7
思考题与习题	10
第1章 机械加工工艺装备	11
1.1 机床	11
1.2 刀具	34
1.3 夹具	63
思考题与习题	107
第2章 金属切削基本原理	110
2.1 金属切削过程	110
2.2 切削力	119
2.3 切削热与切削温度	124
2.4 磨削机理	129
2.5 刀具磨损与刀具耐用度	136
2.6 刀具几何参数与切削用量的选择	143
思考题与习题	152
第3章 工艺规程设计	154
3.1 概述	154
3.2 机械加工工艺规程设计	157
3.3 工艺尺寸链	194
3.4 成组技术(GT)	207
3.5 计算机辅助机械加工工艺规程设计	217
3.6 机器装配工艺规程设计	222
思考题与习题	245
第4章 典型零件加工	251
4.1 轴类零件加工	251
4.2 套筒类零件加工	261

4.3	箱体类零件加工	271
4.4	圆柱齿轮加工	281
	思考题与习题	291
第5章	机械制造质量分析与控制	294
5.1	加工质量	294
5.2	机械加工工艺系统几何误差的影响分析	298
5.3	机械加工工艺系统动态误差的影响分析	317
5.4	提高加工质量的途径	343
5.5	制造过程质量统计分析方法与应用	348
	思考题与习题	358
第6章	先进制造技术简介	362
6.1	先进制造工艺技术	362
6.2	制造自动化技术	368
6.3	先进制造哲理、管理技术与生产模式	375
	思考题与习题	379
参考文献	381
后记	383

绪 论

0.1 制造业与制造技术

0.1.1 机械制造业在国民经济中的地位

制造是人类最主要的生产活动之一。它是指人类按照所需目的,运用主观掌握的知识和技能,应用可利用的设备和工具,采用有效的方法,将原材料转化为有使用价值的物质产品并投放市场的全过程。

制造业是指对原材料(采掘业的产品和农产品)进行加工或再加工,以及对零部件装配的工业的总称。它是国民经济的支柱产业之一。据统计,工业化国家中以各种形式从事制造活动的人员约占全国从业人数的四分之一。我国的制造业在工业总产值中占了约40%。图0.1显示了当今制造业的社会功能。

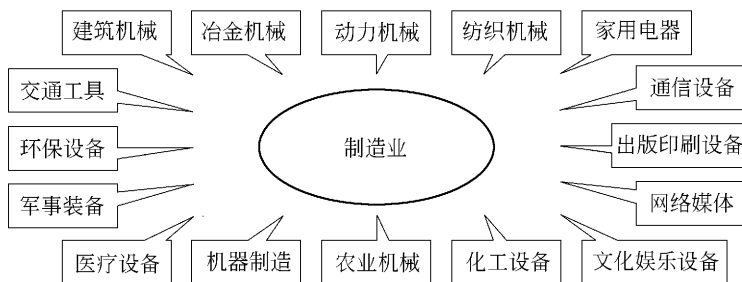


图 0.1 当今制造业的社会功能

机械制造业是制造业的最主要的组成部分。它是为用户创造和提供机械产品的行业,包括机械产品的开发、设计、制造生产、流通和售后服务全过程。目前,机械制造业肩负着双重任务:一是直接为最终用户提供消费品;二是为国民经济各行业提供生产技术装备。因此,机械制造业是国家工业体系的重要基础和国民经济的重要组成部分,机械制造技术水平的提高与进步将对整个国民经济的发展和科技、国防实力产生直接的作用和影响,是衡量一个国家科技水平的重要标志之一,在综合国力竞争中具有重要的地位。

制造技术是完成制造活动所施行的一切手段的总和。这些手段包括运用一定的知识、技能,操纵可以利用的物质、工具,采取各种有效的方法等。制造技术是制造企业的技术支柱,是制造企业持续发展的根本动力。忽略制造技术的发展,就可能使经济发展走入歧途。例如,在 20 世纪 70 年代到 80 年代间,美国受所谓制造业已成为“夕阳工业”的思潮影响,忽视制造技术的提高与发展,致使制造业急剧滑坡,在汽车、家电等方面受到了日本的有力挑战,丧失了许多市场,导致了一定的经济衰退。这一严重局面使得美国决策层重新审视自己的产业政策,先后制订了一系列振兴制造业的计划,并特别将 1994 年定为美国的制造技术年,制造技术是美国当年财政重点扶植的惟一领域。这些措施,使先进制造技术在美国得到较大的发展,其结果促进了美国经济的复苏,夺回了许多丧失的市场。

0.1.2 机械制造技术的现状与发展前景

新中国成立以来,我国的机械制造业与制造技术得到了长足发展,已经形成了一个门类比较齐全、具有相当规模和一定技术水平的机械制造工业体系。特别是改革开放以来,我国机械制造业充分利用国内外的资金和技术,引导企业走依靠科技进步的道路,进行了较大规模的技术改造,使制造技术、产品质量及经济效益有了显著的提高,为推动国民经济的发展起了重要作用。1997 年机械工业实现销售收入占全国工业总销售收入的 21%,利润、税收均占全国工业同比的 15%,出口创汇占全国外贸出口额的 20%。其发展速度高于全国工业的同期平均水平。

但与发达国家相比,我国制造业的水平还存在阶段性的差距。主要表现在制造工艺装备落后,低水平生产能力严重过剩,高水平生产能力不足,产品质量和技术水平不高,技术开发能力不强,基础元器件和基础工艺不过关,劳动生产率低下,科技投入严重不足,技术创新能力十分薄弱,产业结构不尽合理,体制不能适应形势的发展需求等。

随着科技、经济、社会的日益进步和快速发展,日趋激烈的国际竞争及不断提高的人民生活水平对机械产品在性能、价格、质量、服务、环保及多样性、可靠性等多方面提出的要求越来越高,对先进的生产技术装备、科技与国防装备的需求越来越大,机械制造业面临着新的发展机遇和挑战。

现代机械制造技术发展的总的趋势是机械制造技术与材料科学、电子科学、信息科学、生命科学、环保科学、管理科学等的交叉、融合,具体将主要集中在以下几个方面:

- 1) 机械制造基础技术 切削(含磨削)加工仍然是机械制造的主导加工方法,进一步提高生产率和加工质量是今后的发展方向。高速、超高速切削(磨

削) ,高精度、高速切削机床与刀具 ,最佳切削参数的自动优选 ,刀具的高可靠性和在线监控技术 ,成组技术(GT) ,自动装配技术等将得到进一步的发展和应用。

2) 超精密及微细加工技术 各种精密、超精密加工技术 ,微细与纳米加工技术在微电子芯片、光子芯片制造 ,超精密微型机器及仪器 ,微机电系统(MEMS)等尖端技术及国防尖端装备制造领域中将大显身手。

3) 自动化制造技术 自动化制造技术将进一步向柔性化、智能化、集成化、网络化发展。计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规程设计(CAPP)、快速成形(RP)等技术将在新产品设计方面得到更全面的应用和完善。高性能的计算机数控(CNC)机床、加工中心(MC)、柔性制造单元(FMC)等将更好地适应多品种、小批量产品的高质、高效加工制造。精益生产(LP)、准时生产(JIT)、并行工程(CE)、敏捷制造(AM)、计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造生产管理模式将主导新世纪的制造业。

4) 绿色制造技术 在机械制造业综合考虑社会、环境、资源等可持续发展的绿色制造技术将朝着能源与原材料消耗最小 ,所产生的废弃物最少并尽可能回收利用 ,在产品的整个生命周期中对环境无害等方面发展。

0.1.3 本课程的性质、研究内容、特点与学习方法

本课程是机械设计制造及其自动化专业的一门主干专业技术基础课程 ,主要介绍机械产品的生产过程、机械加工工艺装备(机床、刀具、夹具)的基本知识、金属切削过程及其基本规律、机械加工和装配工艺规程设计、典型零件加工、机械加工精度与表面质量的分析与控制 ,以及制造技术发展趋势等。

通过本课程的学习 ,要求学生对机械制造有一个总体的了解和把握 ,初步掌握金属切削过程的基本规律和机械加工的基本知识 ,能选择机械加工方法与机床、刀具、夹具及切削加工参数 ,初步具备制订机械加工工艺规程的能力 ,掌握机械加工精度和表面质量的基本理论和基本知识 ,初步具备分析和解决现场工艺问题的能力。

本课程的特点是涉及面广 ,综合性强 ,灵活性大 ,实践性强。它与有关机械的许多基础知识和基本理论都有联系 ,内容丰富 ,融会贯通 ;工艺理论和工艺方法的应用灵活多变 ,与实际生产联系密切。学习本课程应理论联系实际 ,重视实践性教学环节 ,通过金工实习、生产实习、课程实验、课程设计及工厂调研等更好地体会 ,加深理解。学习的关键是要理解和掌握机械加工的基本概念及其在实际生产中的应用 ,同时要用辩证的思想 ,实事求是地对具体情况进行具体分析 ,灵活处理质量、生产率和成本之间的辩证关系 ,以求在保证质量的前提下 ,获得好的经济效益。

0.2 制造过程

0.2.1 制造活动定义

制造的英文为 manufacture ,起源于拉丁语 manu(手)和 factus(做) ,它准确反映了人们对制造的理解 ,即用手来做。

从系統工程的观点看 ,产品的制造是物料转变(物料流)、能量转化(能量流)和信息传递(信息流)的过程 (图 0.2)。物料流是指物料经过制造过程产生形貌和位置的转变 ,如工件经过加工改变形状、尺寸 ,经过运输改变工位等。能量流是指在制造过程中将能量施加于加工对象并产生相应的变换。信息流是指将要求得到的形状、尺寸、性能等信息向被加工物料传递的过程。对一个产品的制造活动来说 ,它可能是产品装配图、零件图或 CAD 软件、工艺文件、CAM 软件或 CNC 软件代码 ;对于成形过程 ,如铸造、模锻、冲压、注塑等加工来说 ,模具就是信息的载体。物料、能量、信息三者的关系是 :在信息控制下 ,由能量起作用 ,对物料进行加工从而使之形成产品。人和设备是制造活动的支撑条件 ,政策与法规是约束条件 ,即制造活动要符合国家的产业政策 ,符合环境保护、劳动保护等法规。

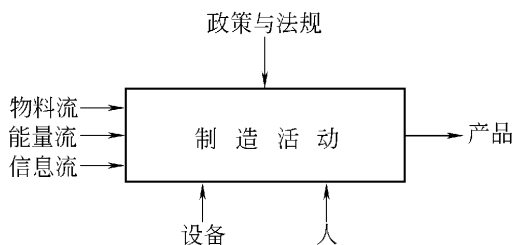


图 0.2 制造活动过程

0.2.2 产品制造过程

产品的制造过程是将原材料转变成成品的全过程。它包括 :生产技术准备、毛坯制造、机械加工、热处理、装配、调试检验以及油漆包装等过程。上述过程中凡使被加工对象的尺寸、形状或性能产生一定变化的均称为直接生产过程。而工艺装备的制造、原材料的供应、工件及材料的运输和储存、设备的维修及动力供应等过程 ,不会使被加工对象产生直接的变化 ,称为辅助生产过程。

在生产过程中直接改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质(物理、化学、力学性能)等,使其成为合格产品的过程,称为工艺过程。如毛坯制造、机械加工、热处理、装配等,它是生产过程的重要组成部分。工艺过程包括热加工工艺过程(铸造、塑性加工、焊接、热处理及表面处理)、机械加工工艺过程(冷加工)和装配工艺过程。

0.2.3 生产类型与组织

机械产品的制造不仅与产品的结构、技术要求有很大关系,而且与企业的生产类型也有很大关系。生产类型是指产品生产的专业化程度。它是由生产纲领所决定的。生产纲领是企业在计划期内产品的产量。计划期为一年的生产纲领(年产量) N 可按式计算:

$$N = Qn(1 + \alpha + \beta) \quad (0.1)$$

式中 Q ——产品的年产量;

n ——每台产品中该零件的数量;

α ——备品的百分率;

β ——废品的百分率。

根据生产纲领的大小,可划分生产类型,如表0.1所示。

表0.1 生产纲领与生产类型的关系

生产类型	零件年生产纲领(件/年)		
	重型零件	中型零件	小型零件
单件生产	≤ 5	≤ 20	≤ 100
小批生产	$> 5 \sim 100$	$> 20 \sim 200$	$> 100 \sim 500$
中批生产	$> 100 \sim 300$	$> 200 \sim 500$	$> 500 \sim 5\,000$
大批生产	$> 300 \sim 1\,000$	$> 500 \sim 5\,000$	$> 5\,000 \sim 50\,000$
大量生产	$> 1\,000$	$> 5\,000$	$> 50\,000$

产品的用途不同,决定了其市场需求量也不同,因此形成了不同的生产类型。如家电产品的市场需求可能是几千万台,而专用模具、巨型发电机组等的需求则往往只是单件。生产类型决定了机械加工专业化和自动化的程度,决定了所应选用的加工工艺方法和工艺装备。各种生产类型的工艺特点见表0.2。

在一定的范围内,各生产类型之间并没有十分严格的界限。单件生产和小批生产的工艺特点相近,一般合称单件小批生产;大批生产和大量生产的工艺特点相近,一般合称大批量生产;小批生产、中批生产和大批生产又可称为成批

生产。

表 0.2 各种生产类型的工艺特点

生产类型 工艺特点	单件小批生产	中批生产	大批量生产
零件的互换性	一般是配对制造,没有互换性,广泛采用钳工修配	大部分有互换性,少数用钳工修配	全部有互换性,精度高的配合件用分组装配法和调整法
毛坯的制造方法及加工余量	木模手工造型或自由锻。毛坯精度低,加工余量大	部分采用金属模铸造或模锻。毛坯精度和加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、模锻及其他高效方法。毛坯精度高,加工余量小
机床设备及其布置形式	通用机床按机群式排列,部分采用数控机床或加工中心	部分通用机床和高效机床、数控机床、加工中心,按零件类别分工段排列	广泛采用高效自动机床、专用机床、数控机床,按自动线和流水线排列
工艺装备及达到精度的方法	通用夹具、标准附件、通用刀具和万能量具。靠划线和试切法达到精度要求	专用及成组夹具、专用刀具及量具。主要使用调整法达到精度要求	高效专用夹具、复合刀具、专用量具、自动检测装置。用调整法及自动控制达到精度要求
对工人的要求	需要技术熟练的工人	需要一定技术水平的工人	对操作工人的技术要求较低,对调整工人的技术水平要求较高
工艺文件	有简单的工艺过程卡,关键工序有序序卡	有详细的工艺规程,关键零件有序序卡	有详细的工艺规程和工序卡,关键工序有调整卡、检验卡

企业组织产品的生产可以有以下几种模式：

- 1) 生产全部零部件、组装机器。
- 2) 生产一部分关键的零部件,进行整机装配,其余的零部件由其他企业供应。
- 3) 完全不生产零部件,只负责设计与销售。

第一种模式的企业,必须拥有加工所有零件的设备,形成大而全、小而全的工厂。当市场发生变化时,很难及时调整产品结构,适应性差。

许多产品复杂的大企业多采用第二种模式,如汽车制造业。其关键在于应自己掌握核心技术和工艺,或自己生产高附加值的零部件。如汽车生产厂家只控制底盘、车身和发动机的设计和制造及整车装配,而汽车零配件的生产由众多的中小企业承担。

第三种模式具有占地少、固定设备投入少、转产容易等优点,较适宜市场变化快的产品生产。

针对不同产品选用生产模式及制造技术的准则是质量、成本、生产率,三者通常被称为评价机电产品制造过程的三准则。由表 0.2 可知,大批量生产可以获得较高的生产率和较低的生产成本,显示了巨大的优越性。与中小批量相比,大批量生产有明显的经济效益,这就是所谓的“批量法则”。然而随着技术的飞速发展及人们消费水平的提高,消费的个性化及制造业的竞争日趋激烈,使大批量生产类型越来越被多品种、小批量所取代。据统计,近年来在国外制造业中,产品的 70% ~ 75% 已按多品种、小批量的生产方式组织生产。

上述第一种模式投资大、效率低、管理困难、经济效益差。究其原因,这种全能的工厂模式不符合“批量法则”。为扩大生产批量,应改进产品设计,加强产品及零部件系列化、标准化、通用化工作;并积极开展和大力推进工业生产的专业化协作(即第二种模式的生产),包括产品专业化、零部件专业化、工艺专业化和辅助生产专业化等多种形式的生产协作。此外,采用成组技术,按零件结构、材料、工艺的相似性,组织同类型零件的集中生产,实施成组工艺,将小批量生产转化为批量较大的生产类型,是提高多品种、中小批量生产经济效益的有效途径。近年来,柔性加工系统的出现,为单件小批量生产提供了高效的先进设备,是机械制造的一个重要发展方向。许多高新技术开发区“产品设计、销售在内,产品加工、装配在外”的企业是第三种生产模式。国外敏捷制造中的动态联盟,其实质即是在互联网信息技术支持下,在全球范围内实现这一生产模式。这种组织方式更显示出知识在现代制造业的突出作用和地位,实际上是制造业由资金密集型向知识密集型过渡的模式。

0.3 零件(毛坯)成形方法

在机械制造的生产过程中,零件(毛坯)的成形要采用各种不同的制造工艺方法。这些方法利用不同的机理,使被加工对象(原材料、毛坯、半成品等)产生变化(指尺寸、几何形状、性质、状态等的变化)。按照加工过程中质量 m 的变化 Δm ,可以将零件(毛坯)的制造工艺方法分为材料成形工艺、材料去除工艺和材料累积工艺三种类型。

0.3.1 材料成形工艺($\Delta m = 0$)

材料成形工艺(或贯通流程)是指加工时材料的形状、尺寸、性能等发生变化,而其质量未发生变化,属于质量不变工艺。材料成形工艺常用来制造毛坯,也可以用来制造形状复杂但精度要求不太高的零件。材料成形工艺的生产效率较高。常用的成形工艺有铸造、锻压、粉末冶金等。

1. 铸造

铸造是将液态金属浇注到与零件的形状尺寸相适应的铸造型腔中,冷却凝固后获得毛坯或零件的工艺方法。基本工艺过程为制模、造型、熔炼、浇注、清理等。由于铸造时受各种因素的影响,铸件可能存在组织不均匀、缩孔、热应力、变形等缺陷,使铸件的精度、表面质量、力学性能不高。尽管如此,由于适应性强,生产成本低,铸造加工仍得到十分广泛的应用。形状复杂,尤其有复杂内腔的零件毛坯常采用铸造。

常用的铸造方法有砂型铸造、金属型铸造、熔模铸造、压力铸造、离心铸造等。其中,砂型铸造应用最广。

2. 锻压

锻造与板料冲压统称为锻压。锻造是利用锻造设备对加热后的金属施加外力,使之发生塑性变形,形成具有一定形状、尺寸和组织性能的零件毛坯。经过锻造的毛坯,内部组织致密均匀,金属流线分布合理,零件强度高。因此,锻造常用于制造综合力学性能要求高的零件毛坯。锻造方法有自由锻造、模型锻造、胎膜锻造、轧制和挤压等。

板料冲压是在压力机上利用冲模将板料冲压成各种形状和尺寸的制件。由于板料冲压一般在常温下进行,故又称为冷冲压。冲压加工有极高的生产率和较高的加工精度,其加工形式有冲裁、弯曲、拉深、成形等。板料冲压在电气产品、轻工产品、汽车制造中有十分广泛的应用。

3. 粉末冶金

粉末冶金是以金属粉末或金属与非金属粉末的混合物为原料,经模具压制、烧结等工序,制成金属制品或金属材料的工艺方法。粉末冶金制品的材料利用率能达到95%,可实现少无切削加工,降低生产成本,因此在机械制造中获得日益广泛的应用。粉末冶金生产的工艺流程包括粉末制备、混配料、压制成形、烧结、整形等。

0.3.2 材料去除工艺($\Delta m < 0$)

材料去除工艺(或发散流程)是以一定的方式从工件上切除多余的材料,得到所需形状、尺寸的零件。在材料的去除过程中,工件逐渐逼近理想零件的形状

与尺寸。材料去除工艺是机械制造中应用最广泛的加工方式,包括各种传统的切削加工、磨削加工和特种加工。

1. 切削加工

切削加工是用金属切削刀具在机床上切除工件毛坯上多余的金属,从而使工件的形状、尺寸和表面质量达到设计要求的工艺方法。常见的切削加工方式有车削、铣削、刨削、钻削、拉削、镗削等。

2. 磨削加工

磨削加工是利用高速旋转的砂轮在磨床上磨去工件上多余的金属,从而达到较高的加工精度和表面质量的工艺方法。磨削既可加工非淬硬表面,也可加工淬硬表面。常见的磨削加工方式有内外圆磨削、平面磨削、成形磨削等。

3. 特种加工

特种加工是利用电能、热能、化学能、光能、声能等对工件进行材料去除的加工方法。特种加工不是主要依靠机械能,而是主要用其他能量去除金属材料,特种加工的工具硬度可以低于被加工工件材料的硬度,加工过程中工具和工件中不存在显著的机械切削力。常用的特种加工方法有电火花加工、电解加工、激光加工、超声波加工、水喷射加工、电子束加工、离子束加工等(详见 6.1.1 节)。

0.3.3 材料累积工艺($\Delta m > 0$)

材料累积工艺(或收敛流程)是指利用一定的方式使零件的质量不断增加的工艺方法。包括传统的连接方法、电铸电镀加工和先进的快速成形技术。

1. 连接与装配

传统的累加方式有连接与装配。可以通过不可拆卸的连接方法如焊接、粘接、铆接和过盈配合等,使物料结合成一个整体,形成零件或部件;也可以通过各种装配方法,如螺纹连接、销连接等使若干零件装配连接成组件、部件或产品。

2. 电铸电镀加工

电铸加工、表面局部涂镀加工和电镀都是利用电镀液中的金属正离子在电场的作用下,逐渐镀覆沉积到阴极上去,形成一定厚度的金属层,达到复制成形、修复磨损零件和表面装饰防锈的目的。

3. 快速成形

近几年才发展起来的快速成形技术(RP),是材料累积工艺的新发展。快速成形技术是将零件以微元叠加方式逐渐累积生成。将零件的三维实体模型数据经计算机分层切片处理,得到各层截面轮廓;按照这些轮廓,激光束选择性地切割一层层的纸(LOM 叠层法),或固化一层层的液态树脂(SL 光固化法),或烧结一层层的粉末材料(SLS 烧结法),或喷射源选择性地喷射一层层的粘接剂或热熔材料(FDM 熔融沉积法),形成一个薄层,并逐步叠加成三维实体。快速成

形技术可以直接、快速、精确地将设计思想物化为具有一定功能的原型或直接制造零件,从而可以对产品设计进行快速评价、修改及功能试验,有效地缩短了产品的研发周期,是近年来制造技术领域的一次重大突破(详见 6.1.5 节)。

思考题与习题

- 0.1 什么是制造和制造技术?
- 0.2 机械制造业在国民经济中有何地位?为什么说机械制造业是国民经济的基础?
- 0.3 如何理解制造系统的物料流、能量流和信息流?
- 0.4 什么是机械制造工艺过程?机械制造工艺过程主要包括哪些内容?
- 0.5 什么是生产纲领?如何确定企业的生产纲领?
- 0.6 什么是生产类型?如何划分生产类型?各生产类型都有什么工艺特点?
- 0.7 企业组织产品的生产有几种模式?各有什么特点?
- 0.8 按照加工过程中质量 m 的变化,制造工艺方法可分为几种类型?说明各类方法的应用范围和工艺特点。

第 1 章

机械加工工艺装备

1.1 机床

金属切削机床是用刀具切削的方法将金属毛坯加工成机器零件的机器,是制造机器的机器,习惯上简称为机床。

1.1.1 机床的分类、型号和技术参数

机床的品种规格繁多,为了便于区别、使用和管理,必须对机床进行分类,并编制型号。

1. 机床的分类

机床的传统分类方法,主要是按加工性质和所用的刀具进行分类。根据国家制订的机床型号编制方法,目前将机床分为 12 大类:车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、特种加工机床、锯床和其他机床。在每一类机床中,又按工艺范围、布局形式和结构,分为若干组,每一组又细分为若干系(系列)。

在上述基本分类方法的基础上,还根据机床的其他特征进一步区分。

同类型机床按应用范围(通用性程度)又可分为通用机床、专门化机床、专用机床。

1) 通用机床 它可用于多种零件不同工序的加工,加工范围较广,通用性较强。这种机床主要适用于单件小批生产,例如卧式车床、万能升降台铣床等。

2) 专门化机床 它的工艺范围较窄,专门用于某一类或几类零件某一道(或几道)特定工序的加工,如丝杠车床、曲轴车床、凸轮轴车床等。

3) 专用机床 它的工艺范围最窄,只能用于某一种零件某一道特定工序的加工,适用于大批量生产。如机床主轴箱的专用镗床、机床导轨的专用磨床等。各种组合机床也属于专用机床。

同类型机床按工作精度又可分为:普通精度机床、精密机床和高精度机床。

机床还可按自动化程度分为:手动、机动、半自动和自动机床。

机床还可按重量与尺寸分为:仪表机床、中型机床(一般机床)、大型机床

(10 t~30 t)、重型机床(30 t~100 t)和超重型机床(大于100 t)。

按机床主要工作部件的数目,可分为单轴和多轴或单刀与多刀机床等。

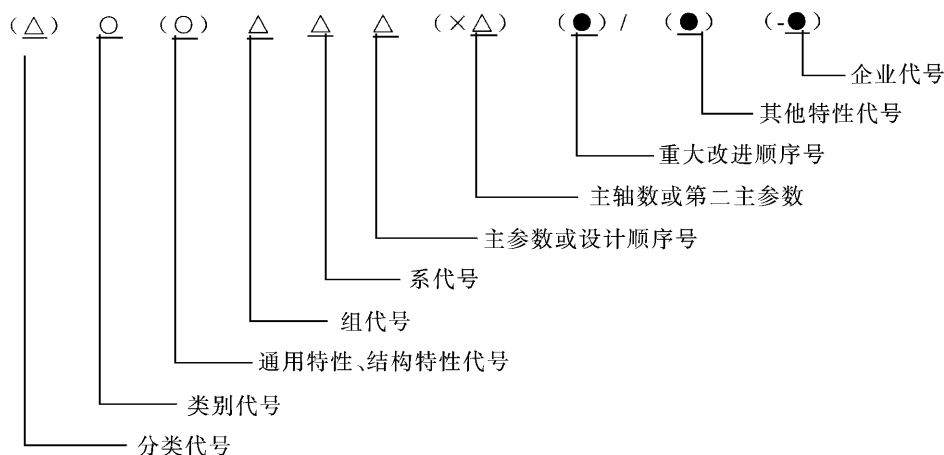
一般情况下,机床根据加工性质分类,再按机床的某些特点加以进一步描述,如高精度万能外圆磨床、立式钻床等。

随着机床的发展,其分类方法也将不断发展。现代机床正向数控化方向发展,数控机床的功能日趋多样化,工序更加集中。现在一台数控机床集中了越来越多的传统机床的功能。例如数控车床在卧式车床的基础上,又集中了转塔车床、仿形车床、自动车床等多种车床的功能。车削中心出现以后,在数控车床功能的基础上,又加入了钻、铣、镗等类机床的功能。又如,具有自动换刀功能的数控镗铣床(习惯上称为“加工中心”),集中了钻、铣、镗等多种类型机床的功能;有的加工中心的主轴既能立式又能卧式,即集中了立式加工中心和卧式加工中心的功能。由此可见,机床数控化引起了机床分类方法的变化,使得机床品种趋于综合。

2. 机床的型号

机床型号是机床产品的代号,用以简明地表示机床的类型、通用和结构特性、主要技术参数等。GB/T 15375—94《金属切削机床型号编制方法》规定:机床的型号由汉语拼音字母和阿拉伯数字按一定规律排列组成,适用于各类通用机床和专用机床(组合机床除外)。

通用机床型号的表示方法:



注:△表示阿拉伯数字;○表示大写的汉语拼音字母,括号中表示可选项,当无内容时括号也不要,有内容时不带括号;●表示大写的汉语拼音字母、阿拉伯数字或两者兼而有之。

(1) 机床的类别代号

机床的类别代号用汉语拼音字母(大写)表示。例如:“车床”的汉语拼音是

“Che chuang”, 所以用“C”表示, 读作“车”。当需要时, 每一类又可以分为若干分类, 其表示方法是在类别代号之前用阿拉伯数字表示, 但当分类是“1”时不予表示, 例如, 磨床类分为 M、2M、3M 三个分类。机床的类别代号如表 1.1 所示。

表 1.1 普通机床类别代号

类别	车床	钻床	镗床	磨床			齿轮加工机床	螺纹加工机床	铣床	刨插床	拉床	特种加工机床	锯床	其他机床
代号	C	Z	T	M	2M	3M	Y	S	X	B	L	D	G	Q
读音	车	钻	镗	磨	2 磨	3 磨	牙	丝	铣	刨	拉	电	割	其

(2) 机床的特性代号

机床的特性代号表示机床所具有的特殊性能, 它包括通用特性和结构特性。

1) 通用特性代号 当某类机床除了有普通型外, 还有某些通用特性时, 在类别代号之后加通用特性代号予以区别。通用特性的代号在各类机床中所表示的意义相同。例如 CM6132 型精密普通车床型号中的“M”表示“精密”。机床的通用特性代号如表 1.2 所示。

表 1.2 机床通用特性代号

通用特性	高精度	精密	自动	半自动	数控	加工中心 (自动换刀)	仿形	轻型	加重型	筒式	柔性加工单元	数显	高速
代号	G	M	Z	B	K	H	F	Q	C	J	R	X	S
读音	高	密	自	半	控	换	仿	轻	重	筒	柔	显	速

2) 结构特性代号 对于主参数值相同而结构、性能不同的机床, 在类别代号之后加结构特性代号予以区别。例如, CA6140 型普通车床型号中的“A”, 可理解为在结构上有别于 C6140 和 CY6140 型普通车床。型号中有通用特性代号时, 结构特性代号排在通用特性代号之后。为避免混淆, 通用特性代号已用的字母及“I”、“O”都不能作为结构特性代号。结构特性代号在机床型号中没有统一的含义。

(3) 机床的组别代号和系列代号

机床的组别代号和系列代号用两位阿拉伯数字表示, 前位表示组别, 后位表示系列。每类机床按其结构性能及使用范围划分为 10 个组, 每个组又划分为 10 个系, 分别用数字 0~9 表示。金属切削机床的类、组划分见表 1.3。

表 1.3 金属切削机床的类、组划分表

组别		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
类别	车床 C	仪表车床	单轴自动车床	多轴自动、半自动车床	回轮、转塔车床	曲轴及凸轮轴车床	立式车床	落地及卧式车床	仿形及多刀车床	轮、轴、辊、锭及铲齿车床	其他车床
	钻床 Z		坐标镗钻床	深孔钻床	摇臂钻床	台式钻床	立式钻床	卧式钻床	铣钻床	中心孔钻床	
	镗床 T			深孔镗床		坐标镗床	立式镗床	卧式铣镗床	精镗床	汽车拖拉机油修理工用镗床	
	磨床						导轨磨床	刀具刃磨床	平面及端面磨床	曲轴、凸轮轴、花键轴及轧辊磨床	工具磨床
			仪表磨床	外圆磨床	内圆磨床	砂轮机			抛光机	刀具刃磨及研磨机床	可转位刀片磨削机床
	2M		超精机	内、外圆珩磨机	平面、球面珩磨机		砂带抛光及磨削机床	刀具刃磨及研磨机床			其他磨床
	3M		球轴承套圈沟磨床	滚子轴承套圈滚道磨床	轴承套圈超精机	滚子及钢球加工机床	叶片磨削机床	滚子超精及磨削机床		气门、活塞及活塞环磨削机床	汽车、拖拉机油修磨机
	齿轮加工机床 Y					剃齿及珩齿机	插齿机	花键轴铣床	齿轮磨齿机	其他齿轮加工机	齿轮倒角及检查机

续表

组别 类别	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
螺纹加工机床 S				套丝机	攻丝机		螺纹铣床	螺纹磨床	螺纹车床	
铣床 X	仪表铣床	悬臂及溜枕铣床	龙门铣床	平面铣床	仿形铣床	立式升降台铣床	卧式升降台铣床	床身式铣床	工具铣床	其他铣床
刨插床 B		悬臂刨床	龙门刨床			插床	牛头刨床		边缘及模具刨床	其他刨床
拉床 L			侧拉床	卧式外拉床	连续拉床	立式内拉床	卧式内拉床	立式外拉床	键槽及螺旋拉床	其他拉床
特种加工机床 D		超声波加工机	电解磨床	电解加工机			电火花磨床	电火花加工机		
锯床 G			砂轮片锯床		卧式带锯床	立式带锯床	圆锯床	弓锯床	链锯床	
其他机床 Q	其他仪表机床	管子加工机床	木螺钉加工机		刻线机	切断机				

(4) 机床主参数

机床主参数代表机床规格的大小,用折算值(主参数乘以折算系数)表示。各类主要机床的主参数及折算系数见表1.4。

表1.4 各类主要机床的主参数和折算系数

机 床	主 参 数 名 称	折 算 系 数
卧式车床	床身上最大回转直径	1/10
立式车床	最大车削直径	1/100
摇臂钻床	最大钻孔直径	1/1
卧式镗床	镗轴直径	1/10
坐标镗床	工作台面宽度	1/10
外圆磨床	最大磨削直径	1/10
内圆磨床	最大磨削孔径	1/10
矩台平面磨床	工作台面宽度	1/10
齿轮加工机床	最大工件直径	1/10
龙门铣床	工作台面宽度	1/100
升降台铣床	工作台面宽度	1/10
龙门刨床	最大刨削宽度	1/100
插床及牛头刨床	最大插削及刨削长度	1/10
拉床	额定拉力	1/1

第二主参数一般是指主轴数、最大跨距、最大工件长度、工作台工作长度等。第二主参数也用折算值表示。

(5) 机床的重大改进顺序号

当机床的性能及结构布局有重大改进,并按新产品重新设计、试制和鉴定时,在原有机床型号的尾部,加重大改进号,以区别于原有机床型号。序号按A、B、C、...的字母顺序选用。

(6) 其他特性代号

主要用以反映各类机床的特性,如对数控机床,可用来反映不同的数控系统;对于一般机床可用来反映同一型号机床的变型等。其他特性代号用汉语拼音字母或阿拉伯数字或二者的组合来表示。

(7) 企业代号

生产企业单位的代号用企业所在城市名称或企业名称的大写汉语拼音字母

表示。

例如 MG1432A 型高精度万能外圆磨床型号中 :M——类别代号(磨床类);G——通用特性(高精度);1——组别代号(外圆磨床组);4——系别代号(万能外圆磨床系);32——主参数(最大磨削直径 320 mm);A——重大改进顺序号(第一次重大改进)。

3. 机床技术性能指标

机床的技术性能指标是根据使用要求确定的,通常包括以下内容:

(1) 机床的工艺范围

机床的工艺范围是指机床上可以完成的工序种类,能加工的零件类型,使用的刀具,所能达到的加工精度和表面粗糙度,适用的生产规模等。

(2) 机床的技术参数

机床的技术参数主要包括:尺寸参数(几何参数)、运动参数和动力参数。

1) 尺寸参数 是指机床能够加工工件的最大几何尺寸。例如,对于卧式车床的主参数为床身上最大工件回转直径,第二主参数为最大工件长度;对于矩台平面磨床,主参数为工作台面宽度,第二主参数为工作台面长度。

2) 运动参数 是指机床加工工件时所能提供的运动速度,包括主运动的速度范围、速度数列和进给运动范围、进给量数列,以及空行程的速度等。对作回转运动的机床,主运动参数是主轴转速;对作直线运动的机床,主运动参数是机床工作台或滑枕的每分钟往复次数。大部分机床(如车床、钻床)的进给量用工件或刀具每转的位移(mm/r)来表示。直线往复运动的机床(如刨床、插床)的进给量,以每一往复的位移量来表示。铣床和磨床的进给量,以每分钟的位移量(mm/min)来表示。

3) 动力参数 是指机床驱动主运动、进给运动和空行程运动的电动机额定参数(如额定功率、额定转速等)。

(3) 机床的精度与刚度(详见第5章)

机床的精度包括几何精度和运动精度。机床的几何精度指机床在静止状态下的原始精度,包括各主要零部件的制造精度及其相互间的位置精度。机床的运动精度指机床的主要部件运动时的各项精度,包括回转运动精度、直线运动精度、传动精度等。机床的刚度是指机床在受力作用下抵抗变形的能力。

1.1.2 典型机床的加工工艺范围

1. 车床

在机械制造中,车床是金属切削机床中应用最广泛的一种。按结构和用途的不同,可分为卧式车床、转塔车床、立式车床、单轴自动车床、多轴自动和半自动车床、仿形车床、多刀车床、专门化车床(如凸轮轴车床、曲轴车床)等。其中

卧式车床的应用最广。卧式车床由主轴箱、进给箱、溜板箱、刀架、尾座和床身等部件组成(见图 1.1)。车床的主运动是工件的旋转运动,进给运动是刀具的移动。

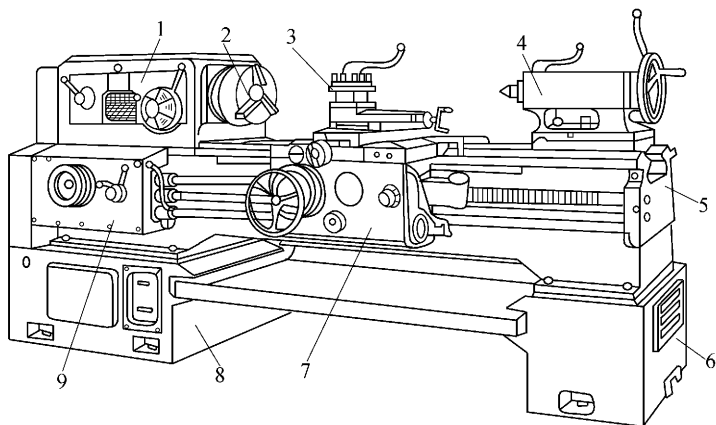


图 1.1 卧式车床

1—主轴箱 2—卡盘 3—刀架 4—尾座 5—床身 6、8—床腿 7—溜板箱 9—进给箱

卧式车床的加工范围很广,它能完成多种加工,主要包括:各种轴类、套类和盘类等零件上的回转表面,如车外圆、镗孔、车锥面、车环槽、切断、车成形面等;车端面;车螺纹,还能钻中心孔、钻孔、铰孔、攻丝、滚花等,如图 1.2 所示。

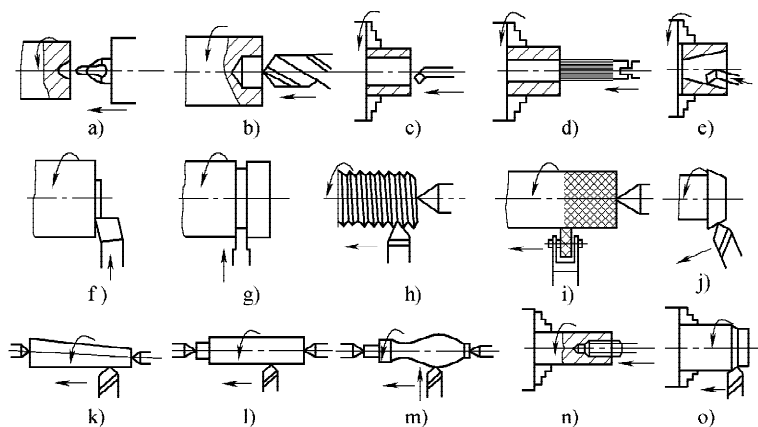


图 1.2 卧式车床加工的典型表面

2. 铣床

铣床是用多刃的铣刀进行切削加工的机床。主要有升降台式铣床、床身式铣床、龙门铣床、工具铣床、仿形铣床、各种专门化铣床(如凸轮铣床、曲轴铣床)。

等,其中应用最广的是升降台式铣床。万能升降台式铣床的主要结构如图 1.3 所示,其主运动是刀具的旋转运动。工作台 6 可在互相垂直的三个方向调整其位置,并可在任一方向上实现进给运动。在床鞍 8 上有一个回转盘 7,可以绕垂直轴在 $\pm 45^\circ$ 范围内调整角度,工作台在回转盘的导轨上移动,以便铣削各种角度的成形面。

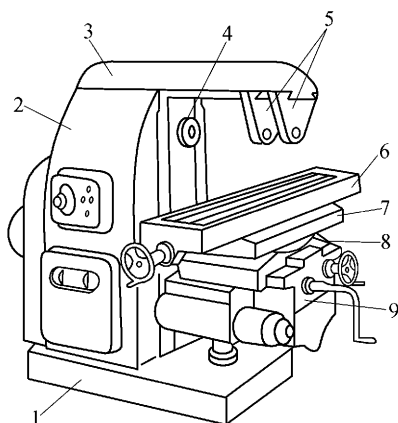


图 1.3 万能卧式升降台式铣床

1—底座 2—床身 3—悬梁 4—主轴 5—支架 6—工作台 7—回转盘 8—床鞍 9—升降台

万能升降台式铣床能完成多种加工,主要包括:各种平面、沟槽、键槽、T形槽、V形槽、燕尾槽、螺纹、螺旋槽,以及齿轮、链轮、花键轴、棘轮等各种成形表面,用锯片铣刀还可进行切断等,如图 1.4 所示。

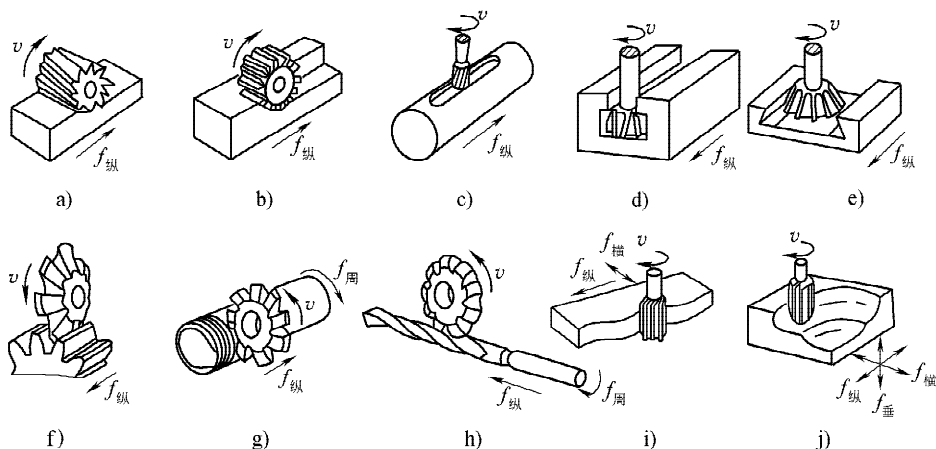


图 1.4 铣床加工的典型表面

3. 磨床

用磨料或磨具(砂轮、砂带、油石或研磨料等)作为工具对工件表面进行磨削加工的机床,统称为磨床。磨床的种类很多,主要有外圆磨床、万能磨床、内圆磨床、平面磨床、无心磨床、工具磨床和各种专门化磨床(如螺纹磨床、曲轴磨床、导轨磨床)等。此外,还有以柔性砂带为切削工具的砂带磨床以及以油石和研磨剂为切削工具的精磨磨床等。图1.5所示为万能外圆磨床,用于磨削内、外旋转表面。其主要结构有床身、工作头架、工作台、砂轮架、内圆磨具、尾座等部件。万能磨床比外圆磨床多一个内圆磨具,且砂轮架和工作头架都能逆时针旋转一定角度。主运动是砂轮的高速旋转运动,进给运动有:工作台带动工件的纵向进给运动;工件旋转的周向进给运动;砂轮架在工作台移动至两端位置上间歇切入的横向进给运动。

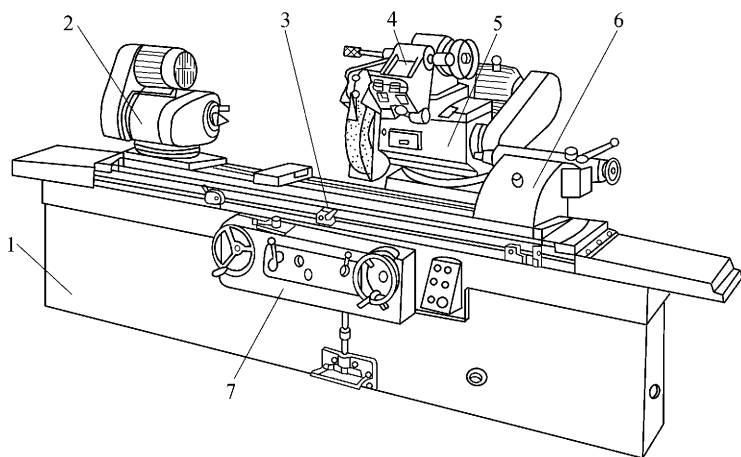


图 1.5 M1432A 型万能外圆磨床

1—床身 2—工作头架 3—工作台 4—内圆磨具 5—砂轮架 6—尾座 7—液压控制箱

万能磨床的加工方式如图1.6所示,图a)为纵向进给磨削外圆柱表面;图b)为工作台旋转一角度,纵向进给磨削外圆锥表面;图c)为砂轮架旋转一角度,横向进给磨削外圆锥表面;图d)为工作头架旋转一角度,横向进给磨削外圆锥表面;图e)为内圆磨具磨内孔,若要磨锥孔,工作头架应旋转一角度。

4. 镗床

镗床是主要使用镗刀的孔加工机床,可分为卧式镗床、坐标镗床、金刚镗床等。卧式镗床的主要结构如图1.7所示。卧式镗床的主要运动有:镗杆或平旋盘的旋转主运动;镗杆的轴向进给运动;主轴箱的垂直进给运动(加工端面);工作台的纵向、横向进给运动;平旋盘上的径向刀架进给运动(加工端面)。且工

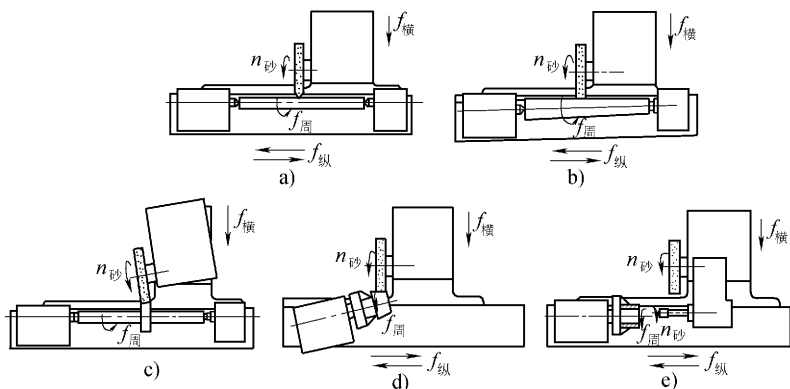


图 1.6 万能磨床加工示意图

作台还能沿上滑座的圆轨道在水平面内转动,以适应加工互相成一定角度的平面和孔。

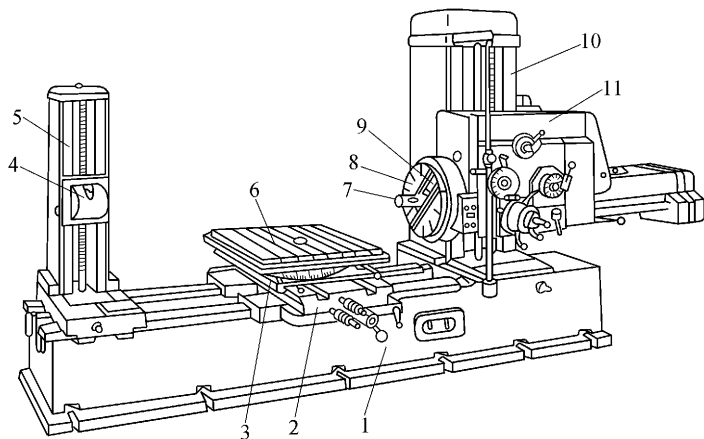


图 1.7 卧式镗床

1—床身 2—下滑座 3—上滑座 4—后支架 5—后立柱 6—工作台
7—镗轴 8—平旋盘 9—径向刀架 10—前立柱 11—主轴箱

镗床特别适用于加工分布在不同位置上、孔距精度和相互位置精度要求都很高的孔系。此外还可进行钻孔、扩孔、铰孔、铣平面、加工螺纹、铣成形面等,如图 1.8 所示。卧式镗床的工艺范围较广,且一次安装可完成大部分的加工工序,主要用于加工大中型的形状复杂的工件,特别对于各种箱体、床身、机壳、机架等的加工最合适。

5. 齿轮加工机床

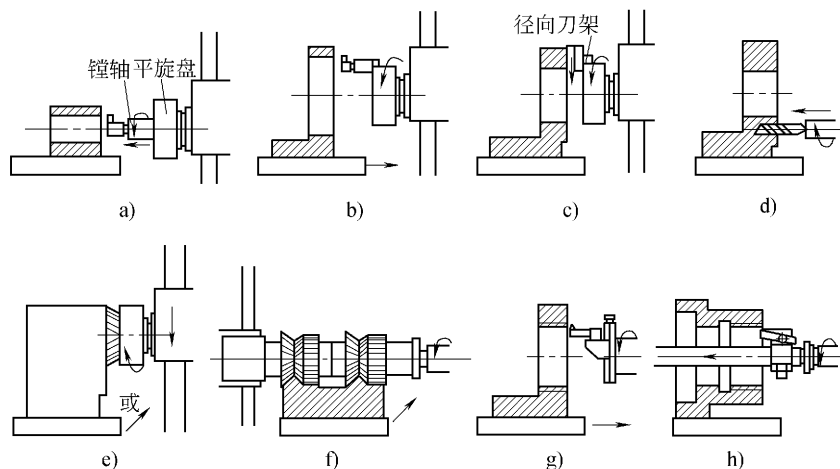


图 1.8 卧式镗床的主要加工方法

齿轮加工机床是用来加工齿轮轮齿的机床,主要有滚齿机、插齿机、剃齿机、珩齿机、磨齿机、刨齿机等。图 1.9 所示为滚齿机,主要用于滚切直齿和斜齿圆柱齿轮和蜗轮。床身 1 上固定立柱 2,刀架溜板 3 可沿立柱上的导轨作垂直方向的移动,以实现滚刀的轴向进给。滚刀安装在刀杆 4 上,可调整其倾斜角度 δ 。工件安装在工作台的心轴 7 上,并支承在支架 6 的孔中,由工作台带动作旋转运动。滚刀的旋转是主运动,滚刀与工件之间的啮合是展成运动,由机床的内联系传动链实现;滚刀沿轴向的移动是进给运动,此外,在滚斜齿轮时,还必须有

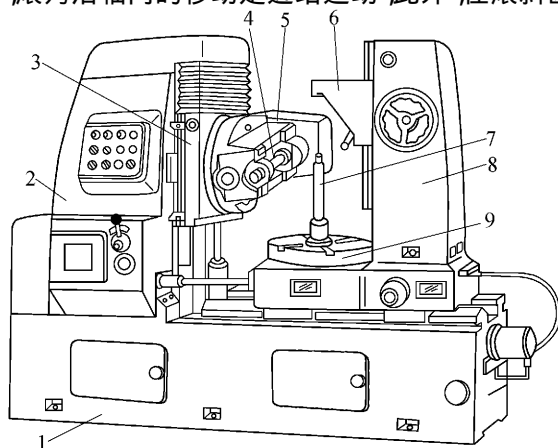


图 1.9 Y3150E 型滚齿机

1—床身 2—立柱 3—刀架溜板 4—刀杆 5—刀架体 6—支架 7—心轴
8—后立柱 9—工作台

一个附加的转动即差动运动。

加工齿轮时,为使滚刀刀齿 1 方向与被切齿轮 2 的齿槽方向一致,滚刀轴线与被切齿轮的端面之间应倾斜一个角度 δ ,称为安装角。安装角与工件的螺旋角 β 和滚刀的螺旋升角 γ 有关,即 $\delta = \beta \pm \gamma$,式中,当滚刀与工件的螺旋线方向相反时取“+”号,方向相同时取“-”号。图 1.10 为加工斜齿轮时滚刀的安装角。可以看出,采用与工件螺旋方向相同的滚刀,可使滚刀安装角较小,有利于提高机床运动的平稳性及加工精度。

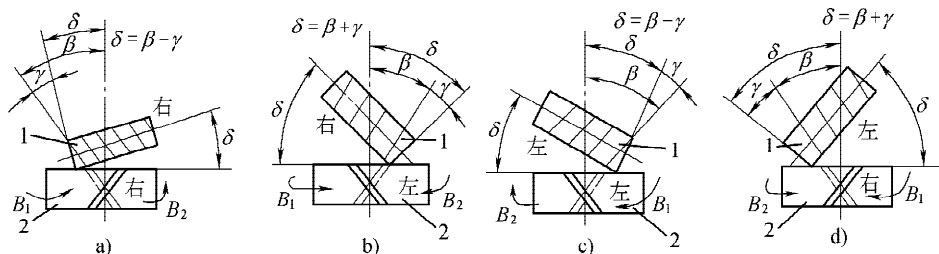


图 1.10 加工斜齿轮时滚刀的安装角

1.1.3 车床的传动原理

1. 车床的传动原理图和传动框图

卧式车床的传动原理如图 1.11 所示。卧式车床在加工螺旋表面时需要有一个刀具与工件间相对的螺旋运动。根据运动的叠加原理,可以将这个运动分解为主轴的旋转 B_{11} 和车刀的纵向移动 A_{12} 两部分。由图可知,车床有两条传动链:一是联系复合运动两部分 B_{11} 和 A_{12} 的内联系传动链,即主轴—4—5— i_f —6—7—丝杠;二是联系动力源(电动机)与这个复合运动的外联系传动链。外联系传动链可以联系复合运动中的任一环节 B_{11} 或 A_{12} 。由于电动机提供的主要动力是给主轴的,故外联系传动链可以表达为:电动机—1—2— i_v —3—4—主轴。

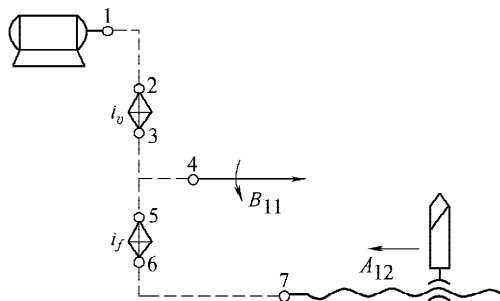


图 1.11 卧式车床的传动原理图

原理图可通过传动框图进一步具体化,如图 1.12 所示。电动机经主换向机构、主变速机构拖动主轴。主换向机构主要用于切削螺纹:切削一刀结束,主换向机构使主轴连同刀架一起换向,回到切削起点,再切第二刀。这一段相当于传动原理图的 1—2 段。主变速机构用于变速,相当于 i_v 。主变速机构至主轴为定比传动,相当于 3—4 段。

进给链(切螺纹时为螺纹链)从主轴开始,经进给换向机构、挂轮架和进给箱内的变换机构、转换机构——光杠(普通车削)、溜板箱内的转换机构传至刀架,或经丝杠(车螺纹)和溜板箱内的螺母传至刀架。

进给换向机构主要用来决定车削右旋或左旋螺纹,这一段相当于 4—5 段。挂轮和进给变换机构用以变换被切螺纹的导程或进给量,相当于 i_f 。进给箱内的转换机构将运动传至丝杠(内联系传动链——螺纹链)或光杠(外联系传动链——进给链)。从进给变速机构至刀架,相当于 6—7 段。

溜板箱中的转换机构改变进给的方向,纵向或横向,正向或反向。若用快速电动机经溜板箱的转换机构驱动刀架,则可实现刀架的快移。

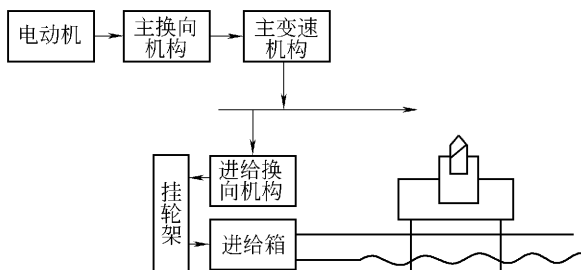


图 1.12 卧式车床传动框图

2. CA6140 型卧式车床的传动系统图

图 1.13 是 CA6140 型卧式车床的传动系统图。图中的符号是按照国家标准 GB 4460—84《机械制图——机动的示意图中的规定符号》的有关规定绘制的,各齿轮所标的数字表示齿数。机床的传动系统图画在一个能反映机床基本外形和各主要部件相互位置的平面上,并尽可能绘制在机床外形的轮廓内。各传动元件应尽可能按运动传递的顺序安排。此图只表示传动关系,不代表各传动元件的实际尺寸和空间位置。

3. CA6140 型卧式车床的主运动传动链

(1) 传动路线

主运动传动链是连接主电动机和主轴的传动链。运动由电动机(7.5 kW, 1450 r/min)经 V 带传动副 $\phi 130 \text{ mm}/\phi 230 \text{ mm}$ 传至主轴箱中的轴 I。在轴 I

上装有双向多片摩擦离合器 M_1 , 使主轴正转、反转或停止。它就是传动框图中 (图 1.12) 的主换向机构。当压紧离合器 M_1 左部的摩擦片时, 轴 I 的运动经齿轮副 $\frac{56}{38}$ 或 $\frac{51}{43}$ 传给轴 II, 使轴 II 获得两种转速。压紧右部的摩擦片时, 这时轴 I 至轴 II 间多了一个中间齿轮 34, 故轴 II 的转向与压紧左部摩擦片时相反。当离合器处于中间位置时, 左、右摩擦片都没有被压紧, 轴 I 的运动不能传给轴 II, 从而使主轴停转。

轴 II 的运动可以通过轴 II、轴 III 间三联滑移齿轮变速组中的任一对传至轴 III, 故轴 III 正转共 $2 \times 3 = 6$ 种转速。

运动由轴 III 传往主轴 VI 有两条路线:

1) 高速传动路线 主轴 VI 上的滑移齿轮 50 移至左端, 使之与轴 III 上右端的齿轮 63 啮合。运动由轴 III 经齿轮副 $\frac{63}{50}$ 直接得到 $450 \sim 1\,400 \text{ r/min}$ 的 6 种高转速。

2) 低速传动路线 主轴上的滑移齿轮 50 移至右端, 使主轴上的齿式离合器 M_2 接合。轴 III 的运动经齿轮副 $\frac{20}{80}$ 或 $\frac{50}{50}$ 传给轴 IV, 又经齿轮副 $\frac{20}{80}$ 或 $\frac{51}{50}$ 传给轴 V, 再经齿轮副 $\frac{26}{58}$ 和齿式离合器 M_2 传给主轴, 使主轴获得 $10 \sim 500 \text{ r/min}$ 的 18 种低转速。上述这些滑移变速齿轮副就是传动框图中的主变速机构。

传动系统可用传动路线表达式表示如下:

$$\begin{aligned}
 & \left(\begin{array}{l} \text{主电动机} \\ 7.5 \text{ kW} \\ 1\,450 \text{ r/min} \end{array} \right) \xrightarrow[\phi 230 \text{ mm}]{\phi 130 \text{ mm}} \text{I} \left\{ \begin{array}{l} \overleftarrow{M_{1(\text{正转})}} - \left(\frac{51}{43} \right) \\ \overrightarrow{M_{1(\text{反转})}} - \frac{50}{34} \times \frac{34}{30} \end{array} \right\} \text{II} \left\{ \begin{array}{l} \frac{39}{41} \\ \frac{22}{58} \end{array} \right\} \text{III} \\
 & \left\{ \begin{array}{l} \overleftarrow{M_{2(\text{脱开})}} - \frac{63}{50} \\ \left(\frac{50}{50} \right) - \text{IV} - \left(\frac{51}{50} \right) \\ \left(\frac{20}{80} \right) - \text{IV} - \left(\frac{20}{80} \right) - \text{V} - \frac{26}{58} - \overrightarrow{M_{2(\text{接合})}} \end{array} \right\} \text{VI (主轴)}
 \end{aligned}$$

(2) 主轴转速级数和转速

由传动系统图和传动路线表达式可知, 当主轴正转时, 可以获得 6 种高转速和 18 种低转速, 共计 24 级转速, 其范围是 $10 \sim 1\,400 \text{ r/min}$ 。同理, 当主轴反转时, 可以获得 12 级转速, 其范围是 $14 \sim 1\,580 \text{ r/min}$ 。主轴反转通常不是用于切

削,而是用于车削螺纹时的退刀运动。

主轴的各级转速,可以根据滑移齿轮的啮合状态求得。图 1.13 所示的啮合位置时,主轴的转速为:

$$n_{\text{主}} = 1450 \text{ r/min} \times \frac{130}{230} \times \frac{51}{43} \times \frac{22}{58} \times \frac{63}{50} \approx 450 \text{ r/min}$$

图 1.14 是 CA6140 型卧式车床主传动系统的转速图。转速图可以表达主轴的每一级转速是通过哪些传动副得到的,这些传动副之间的关系如何,各传动轴的转速等。转速图由以下三个部分组成:

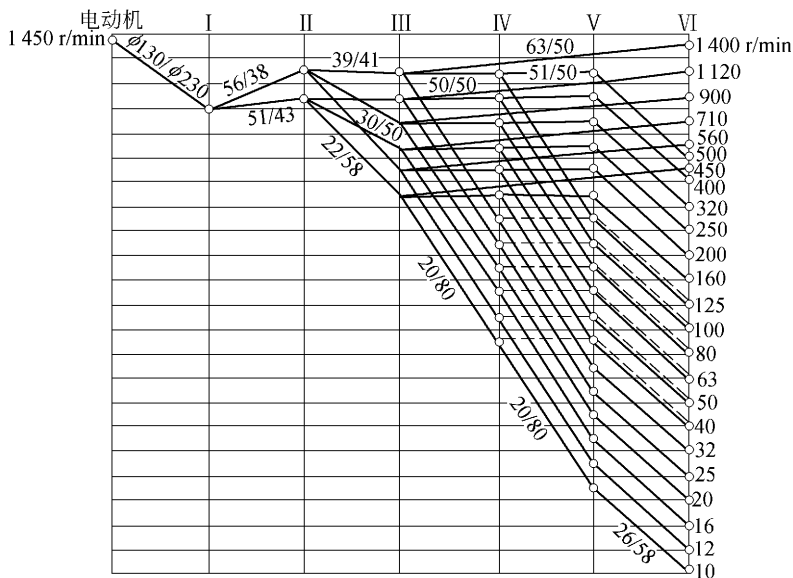


图 1.14 CA6140 型卧式车床主轴转速分布图

1) 距离相等的一组竖线代表各轴。轴号写在上面。竖线间的距离不代表中心距。

2) 距离相等的一组水平线代表各级转速。与各竖线的交点代表各轴的转速。由于分级变速机构的转速一般是按照等比数列排列的,故转速采用了对数坐标。相邻两水平线之间的转速之比为公比 ϕ 。为了简单起见,转速图中省略了对数符号。

3) 各轴之间的连线的倾斜方式代表了传动副的传动比,升速时向上倾斜,降速时向下倾斜。斜线向上倾斜 x 格表示传动副的实际传动比为 $Z_{\text{主}}/Z_{\text{被}} = \phi^x$; 斜线向下倾斜 x 格表示传动副的实际传动比为 $Z_{\text{主}}/Z_{\text{被}} = \phi^{-x}$ 。

例如 CA6140 型卧式车床的公比 $\phi = 1.26$,在轴 II、轴 III 之间的传动比为

$30/50 \approx 1/\phi^2$ 基本下降 2 格 $22/58 \approx 1/\phi^4$ 基本下降 4 格。

4. CA6140 型卧式车床的进给传动链

进给传动链是实现刀具纵向或横向移动的传动链。CA6140 型卧式车床在切削螺纹时,进给传动链是内联系传动链。主轴每转 1 转刀架的移动量应等于螺纹的导程。在切削圆柱面和端面时,进给传动链是外联系传动链。进给量也以工件每转刀架的移动量计。因此,在分析进给传动链时,都把主轴和刀架当作传动链的两端。

运动从主轴 VI 开始,经轴 IX 传至轴 X,可经一对齿轮直接传递,也可经轴 XI 上的惰轮传递。这是进给换向机构。然后,经挂轮架至进给箱。从进给箱传出的运动,一条路线经丝杠 XVIII 带动溜板箱,使刀架作纵向运动,这是切削螺纹的传动链;另一条路线经光杠 XIX 和溜板箱,带动刀架作纵向或横向的机动进给运动,这是进给传动链。

(1) 车削螺纹

CA6140 型卧式车床切削螺纹时,可以车削米制、英制、模数制和径节制四种标准的常用螺纹,此外,还可以车削大导程、非标准和较精密的螺纹。既可以车削右螺纹,又可以车削左螺纹。进给传动链的作用是提供符合要求的进给量,达到车削上述四种标准螺纹的目的。

(2) 车削圆柱面和端面

1) 传动路线 为了减少丝杠的磨损和便于操纵,机动进给是由光杠经溜板箱传动的。这时,将进给箱中的离合器 M_5 脱开,使轴 XVII 的齿轮 28 与轴 XIX 左端的 56 相啮合。运动由进给箱传至光杠 XIX,再经溜板箱中的齿轮副 $\frac{36}{32} \times \frac{32}{56}$ 、超越离合器 M_6 及安全离合器 M_7 、轴 XX、蜗杆蜗轮副 $\frac{4}{29}$ 传至轴 XXI。若运动由轴 XXI 经齿轮副 $\frac{40}{48}$ 或 $\frac{40}{30} \times \frac{30}{48}$ 、双向离合器 M_8 、轴 XXII、齿轮副 $\frac{28}{80}$ 、轴 XXIII 传至小齿轮 12。小齿轮 12 与固定在床身上的齿条相啮合,小齿轮转动时,就使刀架作纵向机动进给以车削圆柱面。若运动由轴 XXI 经齿轮副 $\frac{40}{48}$ 或 $\frac{40}{30} \times \frac{30}{48}$ 、双向离合器 M_9 、轴 XXV 及齿轮副 $\frac{48}{48} \times \frac{59}{18}$ 传至横向进给丝杠 XXVII,就使横刀架作横向机动进给以车削端面。

2) 纵向机动进给量 CA6140 型卧式车床纵向机动进给量有 64 种。当运动由主轴经正常导程的米制螺纹传动路线时,可获得从 0.08 ~ 1.22 mm/r 的 32 种正常进给量。其余 32 种进给量可通过英制螺纹传动路线和扩大螺纹导程机构得到。

3) 横向机动进给量 CA6140 型卧式车床横向机动进给量是纵向机动进给量的一半。

(3) 刀架的快速移动

为了减轻工人的劳动强度和缩短辅助时间, CA6140 型卧式车床的刀架可以实现纵向和横向机动快速移动。按下快速移动按钮, 运动由快速电动机(250 W 2 800 r/min)经齿轮副 $\frac{13}{29}$ 使轴 XX 高速转动, 再经蜗杆蜗轮副 $\frac{4}{29}$ 和溜板箱内的转换机构, 使刀架实现纵向或横向的机动快速移动。快速移动方向仍由双向离合器 M_8 和 M_9 控制。

刀架快速移动时, 不必脱开进给传动链。为了避免仍在转动的光杠和快速电动机同时作用于传动轴 XX, 在齿轮 56 与轴 XX 之间装有超越离合器 M_6 。

1.1.4 数控机床与加工中心

1. 数控机床

数控机床是计算机通过数字化信息实现对机床自动控制的机电一体化产品。现代数控机床普遍采用计算机数字控制系统, 即 CNC 系统。它综合应用微电子技术、计算机自动控制技术、精密检测技术、伺服驱动技术、机械设计与制造技术等多方面的最新成果, 是一种先进的机械加工设备。数控机床不仅能提高产品的质量, 提高生产效率, 降低生产成本, 还能大大改善工人的劳动条件。

(1) 数控机床的特点

1) 适应性广 适应性即柔性, 指数控机床随生产对象而变化的适应能力。数控机床的加工对象改变时, 只需重新编制相应的加工程序, 输入计算机就可以自动地加工出新的工件, 为解决多品种、中小批量零件的自动化加工提供了极好的生产方式。广泛的适应性是数控机床最突出的优点。随着数控技术的迅速发展, 数控机床的柔性也在不断地扩展, 逐步向多工序集中方向发展。

2) 加工精度高、质量稳定 数控机床是按数字指令脉冲自动工作的, 这就消除了操作者人为的误差。目前数控装置的脉冲当量普遍达到了 0.001 mm, 进给传动链的反向间隙与丝杠导程误差等均可由数控装置进行补偿, 所以可获得较高的加工精度。尤其提高了同一批零件加工的一致性, 使产品质量稳定。

3) 生产率高 数控机床能有效地减少零件的加工切削时间和辅助时间。数控机床的功率和刚度高, 可采用较大的切削用量; 同时可以自动换刀, 自动变换切削用量, 快速进退, 自动装夹工件等, 能在一台数控机床上进行多个表面的、不同工艺方法的连续加工, 可自动控制工件的加工尺寸和精度, 而不必经常停机检验。

4) 减轻劳动强度、改善劳动条件 应用数控机床时, 操作者只需编程序、调

整机床、装卸工件等,而后就由数控系统来自动控制机床,免除了繁重的手工操作。机床一般是封闭式加工,清洁、安全。

5) 实现复杂零件的加工 数控机床可以完成普通机床难以加工或根本不能加工的复杂曲面的零件加工,可以实现几乎是任意轨迹的运动和加工任何形状的空间曲面,因此特别适用于各种复杂形面的零件加工。

6) 便于现代化的生产管理 用计算机管理生产是实现管理现代化的重要手段。数控机床采用数字信息与标准代码处理并传递信息,特别是在数控机床上使用计算机控制,为计算机辅助设计、辅助制造和计算机管理一体化奠定了基础。

(2) 数控机床的工作原理及组成

数控机床加工零件时,首先按照加工零件图纸的要求,编制加工程序,即数控机床的工作指令。把这种信息记录在信息载体上(例如穿孔带、磁带或磁盘)输送给数控装置。数控装置对输入的信息进行处理之后,向机床各坐标的伺服系统发出数字信息,控制机床主运动的启停、变速,进给运动的方向、速度和位移,以及其他诸如换刀、工件装夹、冷却润滑等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格按数控程序规定的顺序、路线和参数,自动地加工出符合图样要求的工件。数控加工的过程是围绕信息的交换进行的。从零件图到加工出工件需经过信息的输入、信息的输出和对机床的控制等几个主要环节。所有这些工作都由计算机进行合理的组织,使整个系统有条不紊地工作。

数控机床的基本结构如图 1.15 所示,主要有控制介质、计算机数控装置、伺服驱动系统和机床机械部件组成。

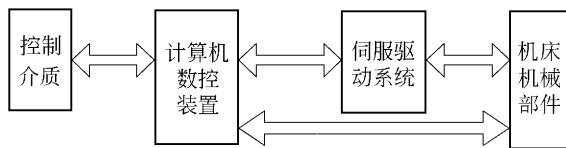


图 1.15 数控机床基本结构框图

1) 控制介质 数控加工程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对零件进行工艺分析的基础上,应确定 ① 零件坐标系,即零件在机床上的安装位置;② 刀具与零件相对运动的尺寸参数;③ 零件加工的顺序;④ 主运动的启停、换向、变速等;⑤ 进给运动的速度、方向、位移量等工艺参数;⑥ 辅助装置的动作。这些加工信息用标准的数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制数控程序可由人工进行,也可由计算机或数控装置完成。程序记录在控制介质(如穿孔带、磁带或磁盘)上。

2) 计算机数控装置 数控装置是数控机床的中枢。它接收输入装置送来的控制介质上的信息,经数控系统进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令给伺服驱动系统和主运动控制部分,控制机床的各部分进行有序的动作。

3) 伺服驱动系统 伺服驱动系统是数控机床的执行部分,包括伺服驱动电动机、各种驱动元件和执行部件等。它的作用是根据来自数控装置的指令发出脉冲信号,控制执行部件的进给速度、方向和位移量,使执行部件按规定轨迹移动或精确定位,加工出符合图样要求的工件。每个作进给运动的执行部件,都配有一套伺服驱动系统。每个脉冲信号使机床执行部件的位移量叫脉冲当量,常用的脉冲当量有 0.01、0.005、0.001 mm/脉冲。伺服系统的性能是决定数控加工精度和生产效率的主要因素之一。

4) 机床的机械部件 主要包括:主运动部件、进给运动部件(如工作台、刀架等)、支承部件(如床身、立柱等)及其他辅助装置(冷却、润滑、转位、夹紧、换刀等部件)。图 1.16 所示为数控车床的外观图。对于加工中心类的数控机床,还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床的机械部件的结构强度、刚度、精度和抗振性等方面的要求很高,且传动和变速系统要便于实现自动化控制。

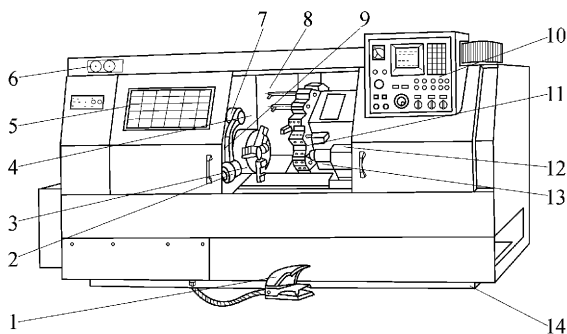


图 1.16 数控车床的外观图

1—脚踏开关 2—对刀仪 3—主轴卡盘 4—主轴箱 5—机床防护门 6—压力表 7—对刀仪防护罩
8—导轨防护罩 9—对刀仪转臂 10—操作面板 11—回转刀架 12—尾座 13—滑板 14—床身

(3) 数控机床的分类

1) 按运动轨迹的方式 可分为点位控制、直线控制和轮廓控制三类。① 点位控制系统只要求获得准确的加工坐标点位置,在移动过程中并不进行加工,所以运动轨迹不需要严格控制。例如数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床就采用点位控制系统。② 直线控制系统除了要求位移起、终点的定位准确外,还要求控制两坐标点之间的位移轨迹是一条直线,并能实现平行于坐标轴的直线切

削加工。例如,数控铣床铣削平面,数控车床车削台阶轴等。③轮廓控制系统能够对两个或两个以上坐标方向的运动同时进行连续控制并切削加工。例如在数控铣床上加工一个三维曲面。

2) 按伺服系统的类型 可分为开环控制、闭环控制和半闭环控制三类。①开环控制采用开环伺服系统,一般由步进电机、配速齿轮和丝杠螺母副等组成,如图 1.17a)所示。伺服系统没有检测反馈装置,不能进行误差校正,故机床加工精度不高。但系统结构简单、维修方便、价格低,适用于经济型数控机床。②闭环控制采用闭环伺服系统,通常由直流(或交流)伺服电机、配速齿轮、丝杠螺母副和位移检测装置等组成,如图 1.17b)所示。安装在工作台上的位移检测装置将工作台的实际位移值反馈到数控装置中,与指令要求的位置进行比较,用差值进行控制,可保证达到很高的位移精度。但系统复杂,调整维修困难,一般用于高精度的数控机床上。③半闭环控制类似闭环控制,但位移检测装置安装在传动丝杠上,如图 1.17c)所示。丝杠螺母传动机构及工作台不在控制环内,其误差无法校正,故精度不如闭环控制。但系统结构简单,稳定性好,调试容易,因此应用比较广泛。

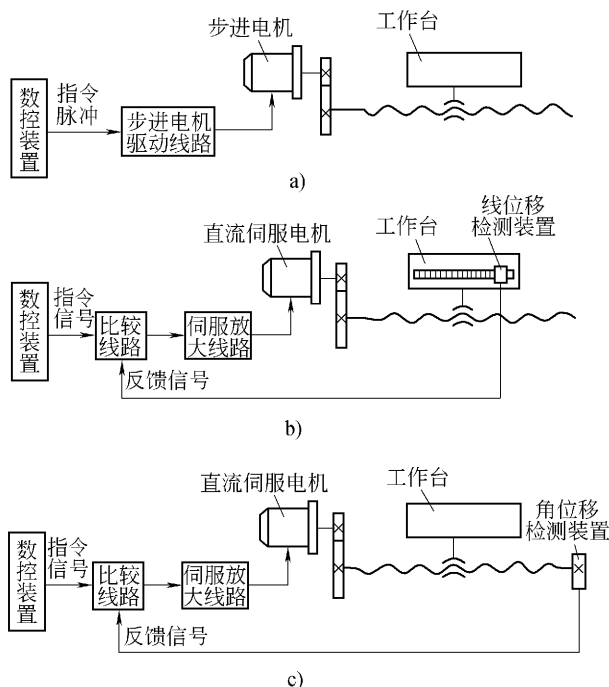


图 1.17 开环、闭环和半闭环伺服系统

2. 加工中心

具有自动换刀装置的数控机床通常称为加工中心,其主要特征是带有一个容量较大的刀库(一般有10~120把刀具)和自动换刀机械手。工件在一次装夹后,数控系统能控制机床按不同要求自动选择和更换刀具,自动连续完成铣(车)、钻、镗、铰、锪、攻螺纹等多种加工。适用于箱体、支架、盖板、壳体、模具、凸轮、叶片等复杂零件的多品种小批量加工。

加工中心通常以主轴在加工时的空间位置分为卧式、立式和万能加工中心。图1.18为JCS-018A型立式加工中心的外观图。床身10上有滑座9,作前后运动(Y 轴);工作台在滑座上作左右运动(X 轴);主轴箱5在立柱导轨上做上下运动(Z 轴)。立柱左前部有刀库4(16把刀具)和换刀机械手2,左后部是数控柜3,内有数控系统。立柱右侧驱动电源柜7,有电源变压器、强电系统和伺服装置。操作面板6悬伸在机床右前方,以便操作。

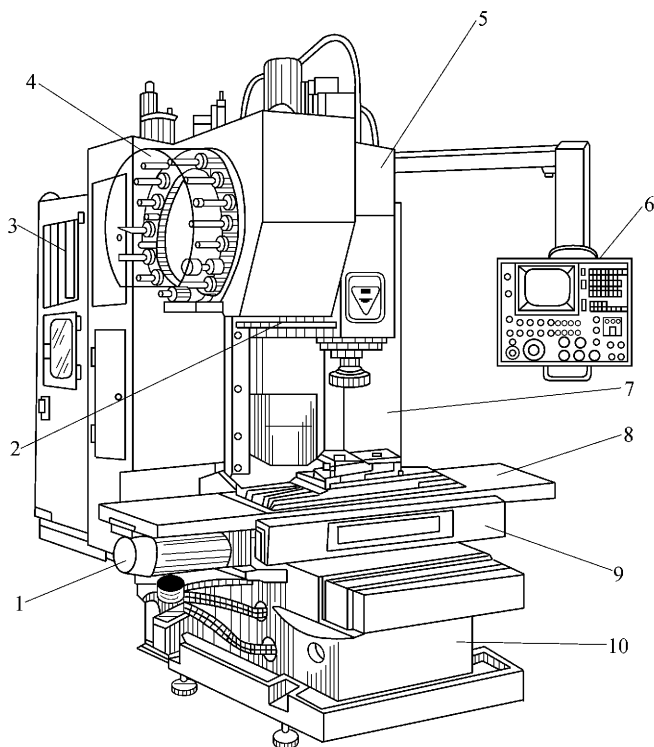


图1.18 JCS-018A型立式加工中心外观图

- 1—直流伺服电机 2—换刀机械手 3—数控柜 4—盘式刀库 5—主轴箱
6—操作面板 7—驱动电源柜 8—工作台 9—滑座 10—床身

除镗铣加工中心之外,还有车削加工中心、钻削加工中心和复合加工中心

等。车削加工中心用来加工轴类零件,是数控车床在扩大工艺范围方面的发展。除了车削工艺外,还集中了铣键槽、铣六角、铣螺旋槽、钻横向孔、端面分度钻孔、攻螺纹等工艺功能。钻削加工中心主要进行钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹等,也可进行小面积的端面铣削。复合加工中心的主轴头可绕 45° 轴自动回转。主轴可转成水平,也可转成竖直。当主轴转为水平,配合转位工作台,可进行四个侧面和侧面上孔的加工;主轴转为竖直,可加工顶面和顶面上的孔,故也称为“五面加工复合加工中心”。

现代加工中心配备越来越多的不同附件,以进一步增加加工中心的功能。例如,新型的加工中心可供选择的附件有:工件自动测量装置、尺寸调整装置、镗刀检验装置以及刀具破损监测装置等。

为改善加工中心的功能,出现了自动更换工作台、自动更换主轴头、自动更换主轴箱和自动更换刀库的加工中心等。自动更换工作台的加工中心一般有两个工作台,一个工作台上的工件在进行加工时,另一个工作台上可进行工件的装卸、调整等工作。自动更换主轴头的加工中心可以进行卧铣、立铣、磨削和转位铣削等加工。机床除了刀库外,还有主轴头库,由工业机器人或机械手进行更换。自动更换主轴箱的加工中心一般有粗加工和精加工主轴箱,以便提高加工精度和加工范围。自动更换刀库的加工中心,刀库容量大,便于进行多工序复杂箱体类零件的加工。

1.2 刀具

金属切削加工是利用刀具切去工件毛坯上多余的金属层,以获得具有一定加工精度和表面质量的机械零件的加工方法,它是机械制造工业中应用最广泛的一种加工方法。

1.2.1 金属切削加工的基本概念

1. 切削运动

在切削加工中,刀具对工件的切削作用是通过工件与刀具间的相对运动和相互作用实现的。刀具与工件间的相对运动称为切削运动。切削运动可分为主运动与进给运动。

(1) 主运动

是使刀具与工件间产生相对运动以进行切削的最基本的运动,也是切削运动中速度最高、消耗机床功率最多的运动。在切削加工中,主运动只有一个。它可以由工件完成,也可以由刀具完成,可以是旋转运动,也可以是直线运动。车削的主运动是机床主轴的旋转运动。图 1.19 表示了车削时切削运动及工件上

形成的表面。

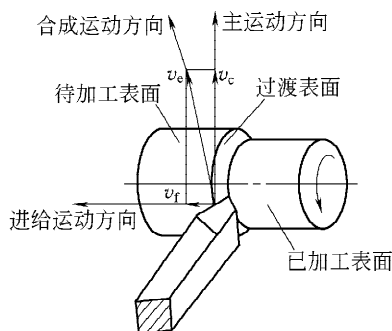


图 1.19 切削运动与加工表面

(2) 进给运动

是使被切削金属层不断投入切削,以逐渐加工出完整表面所需的运动。进给运动一般速度较低,消耗的功率较少,可以由一个或多个运动组成;可以是连续的(如车削),也可以是间断的(如刨削)。

(3) 合成运动

主运动与进给运动合成的运动称为合成切削运动。

(4) 加工表面

在切削过程中,工件上通常存在三个变化的表面(图 1.19),分别是:

待加工表面——工件上即将被切除的表面;

过渡表面(加工表面)——工件上由切削刃正在形成的表面;

已加工表面——工件上经切削后形成的表面。

2. 切削参数

(1) 切削用量

切削速度 v_c 、进给量 f 和背吃刀量 a_p 合称切削用量,又称为切削用量三要素。车削时的切削用量如图 1.20 所示。

1) 切削速度 v_c 刀具切削刃上选定点相对于工件主运动的瞬时速度,单位为 m/s (或 m/min) ,车削时切削速度计算式为:

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000} \quad (1.1)$$

式中 n ——工件或刀具的转速,单位为 r/min ;

d ——工件或刀具选定点的旋转直径,单位为 mm 。

2) 进给量 f 在主运动每转一转或每一行程时,刀具在进给运动方向上相对工件的位移量,单位为 mm/r 或 mm/行程 。进给运动也可以用进给速度 v_f 来表示,其单位为 mm/min (m/min)。车削时的进给运动速度为:

$$v_f = nf \quad (1.2)$$

3) 背吃刀量 a_p 在垂直于主运动和进给运动方向测量的切削层最大尺寸, 单位为 mm, 俗称为切削深度。车外圆时, 背吃刀量为工件上已加工表面与待加工表面间的垂直距离:

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2} \quad (1.3)$$

式中 d_w ——待加工表面直径, 单位为 mm;

d_m ——已加工表面直径, 单位为 mm。

(2) 切削层参数

在切削过程中, 主运动一个切削循环内, 刀具从工件上所切除的金属层称为切削层。如图 1.20 所示, 车削时工件旋转一周, 刀具从位置 II 移到 I, 所切下的 I 与 II 之间的工件金属层即为切削层。切削层参数共有三个, 通常在垂直于切削速度的平面内测量。

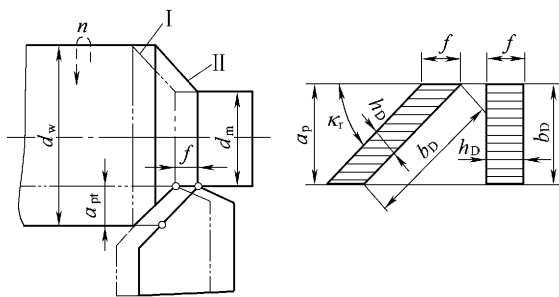


图 1.20 切削用量和切削层参数

1) 切削层公称厚度 h_D (mm) 指垂直于过渡表面测量的切削层尺寸, 即相邻两过渡表面间的距离。 h_D 反映了切削刃单位长度上的切削负荷。由图 1.20 可知:

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1.4)$$

2) 切削层公称宽度 b_D (mm) 指沿过渡表面测量的切削层尺寸。 b_D 反映了切削刃参加切削的长度。由图 1.20 可知:

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r \quad (1.5)$$

3) 切削层公称横截面积 A_D (mm^2) 指在切削层尺寸平面里测量的横截面积, 即为切削层公称厚度与切削层公称宽度的乘积。由图 1.20 可知:

$$A_D = h_D b_D = a_p f \quad (1.6)$$

在生产中, 切削参数的选择对工件的加工质量、切削加工生产率和切削过程有着重要的影响。

1.2.2 刀具材料

1. 刀具材料应具备的性能

刀具材料对刀具的寿命、加工质量、切削效率和制造成本均有较大的影响,因此必须合理选用。在切削过程中,刀具切削部分承受高温、高压,以及强烈的摩擦、冲击和振动,所以刀具切削部分材料的性能应满足以下基本要求:

1) 足够的硬度和耐磨性 刀具材料的硬度应比工件材料的硬度高,一般常温硬度要求在 60 HRC 以上。刀具材料应具有较高的耐磨性。材料硬度越高,耐磨性也越好。刀具材料含有耐磨的合金碳化物越多、晶粒越细、分布越均匀,则耐磨性越好。

2) 足够的强度和韧性 刀具材料必须有足够的强度和韧性,以便承受切削力及在承受振动和冲击时不致断裂和崩刀。

3) 足够的热硬性 热硬性是指在高温下仍能保持上述硬度、耐磨性、强度和韧性基本不变的能力。一般用保持刀具切削性能的最高温度来表示。

4) 良好的工艺性 为便于制造,刀具材料应具备较好的被加工性能,如焊接、热处理、切削、磨削等工艺性。

5) 经济性 经济性是评价刀具材料的重要指标之一。有些材料虽单件成本很高,但因其使用寿命长,分摊到每个工件上的成本不一定很高。

2. 常用刀具材料

刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、金刚石、立方氮化硼等,碳素工具钢(如 T10A、T12A)及合金工具钢(如 9SiCr、CrWMn)耐热性较差,通常仅用于手工工具和切削速度较低的刀具;陶瓷、金刚石、立方氮化硼虽然性能好,但成本较高,目前并没有广泛使用;刀具材料中使用最广泛的仍然是高速钢和硬质合金。

(1) 高速钢

高速钢是含有 W、Mo、Cr、V 等合金元素较多的合金工具钢。它所允许的切削速度比碳素工具钢及合金工具钢高 1 ~ 3 倍,故称为高速钢,又称锋钢、白钢。高速钢的常温硬度为 63 ~ 70 HRC,热硬性为 540 ~ 620℃。高速钢刀具易磨出较锋利的刃口,特别适用于制造结构复杂的成形刀具、孔加工刀具及铣刀、拉刀、螺纹刀具、切齿刀具等。高速钢分为普通高速钢和高性能高速钢,普通高速钢常用牌号有 W6Mo5Cr4V2 和 W18Cr4V 等。高性能高速钢是指在普通高速钢中增加碳、钒、钴或铝等合金元素的新钢种,常见有高碳高速钢(如 9W18Cr4V)、高钒高速钢(如 W12Cr4V4Mo)、钴高速钢(如 W2Mo9Cr4VCo8)、铝高速钢(如 W6Mo5Cr4V2Al)。高速钢刀具的表面进行氮化钛(TiN)、碳化钛(TiC)等涂层后,使其硬度高和耐磨性强,同时又有较好的强度与韧性,目前广泛应用在钻头、丝锥、成形铣刀、切齿刀具上。常用高速钢的化学成分、性能和用途如表 1.5 所示。

表 1.5 常用高速钢的化学成分、性能和用途

类别	牌 号	化学成分/%						600℃ 高温硬度 /HRC	抗弯强度 σ_{bs} /MPa	冲击韧性 a_k /(J·m ⁻²)性能	主要用途
		C	W	Mo	Cr	V	其他				
普通高速钢	W18Cr4V	0.70~0.80	17.5~19.5	≤0.30	3.80~4.40	1.00~1.40	—	48.5	~3 500	~30	用途广泛,如齿轮刀具、钻头、铰刀、铣刀、拉刀等
	W6Mo5Cr4V2	0.80~0.90	5.50~6.75	4.50~5.50	3.80~4.40	1.75~2.20	—	47~48	4 500~4 700	~50	制造要求热塑性好和受较大冲击负荷的刀具
高碳	9W18Cr4V	0.90~1.00	17.5~19.0	≤0.30	3.80~4.40	1.00~1.40	—	51	~3 000	~10.0	用于对韧性要求不高,但对耐磨性要求较高的刀具
高性能	W12Cr4V4Mo	1.20~1.40	11.5~13.0	0.90~1.20	3.80~4.40	3.80~4.40	—	51	~3 200	~25.0	用于形状简单,但要求耐磨的刀具
高速钢	W6Mo5Cr4V2Al	1.05~1.20	5.50~6.75	4.50~5.55	3.80~4.40	1.75~2.20	Al0.80~1.20	55	3 500~3 800	20	制造复杂刀具和难加工材料用刀具
	W2Mo9Cr4VCo8	1.05~1.15	1.15~1.85	9.00~10.0	3.50~4.25	0.95~1.35	Co7.75~8.75	55	2 500~3 000	10	制造复杂刀具和难加工材料用刀具,价格昂贵

(2) 硬质合金

硬质合金是由硬度和熔点很高的金属碳化物(如碳化钨、碳化钛、碳化钽、碳化铌等)和金属粘结剂(如钴、镍、钼等)通过粉末冶金工艺制成的。硬质合金的硬度,特别是高温硬度、耐磨性、热硬性都高于高速钢。硬质合金的常温硬度可达 89~93 HRA,相当于 74~81 HRC,热硬性可达 890~1 000℃。但硬质合金较脆,抗弯强度低,韧性也很低。常用硬质合金的类型、牌号、化学成分、性能及使用范围见表 1.6。

1) 钨钴类硬质合金(YG) 一般用于切削铸铁等脆性材料和有色金属及其合金,也适于加工不锈钢、高温合金、钛合金等难加工材料。常用牌号有 YG3、YG6、YG6X、YG8。精加工可用 YG3,半精加工选用 YG6、YG6X,粗加工宜用 YG8。

2) 钨钴钛类硬质合金(YT) 一般用于连续切削塑性金属材料,如普通碳钢、合金钢等。常用牌号有 YT5、YT14、YT15、YT30。精加工可用 YT30,半精加工选用 YT14、YT15,粗加工宜用 YT5。

3) 添加稀有金属碳化物类的硬质合金(YA、YW) 在硬质合金中添加适量的稀有金属碳化物(碳化钛 TiC 或碳化铌 NbC),能提高硬质合金的硬度、耐磨性,且具有较好的综合切削性能,但价格较贵,主要适用于切削难加工材料。

4) 镍钼钛类硬质合金(YN) 它以镍、钼作为粘结剂,具有较好的切削性能,因此允许采用较高的切削速度。主要用于碳钢、合金钢等金属材料连续切削时的精加工。

另外采用细晶粒、超细晶粒硬质合金比普通晶粒硬质合金刀具的硬度与强度高。硬质合金刀具表面若采用 TiC、TiN、 Al_2O_3 及其复合材料涂层,有较好的综合性能,其基体强度韧性较好,表面耐磨,耐高温,多用于普通钢材的精加工或半精加工。

(3) 其他刀具材料

1) 陶瓷 陶瓷是以氧化铝(Al_2O_3)或以氮化硅(Si_3N_4)为基体再添加少量金属,在高温下烧结而成的一种刀具材料。陶瓷刀具比硬质合金具有更高的硬度和耐热性,在 1 200℃ 的温度下仍能切削,切削速度更高,并可切削难加工的高硬度材料。主要缺点是性脆,抗冲击韧性差,抗弯强度低。

2) 金刚石 天然金刚石是自然界最硬的材料。耐磨性极好,但价格昂贵,主要用于制造加工精度和表面粗糙度要求极高的零件的刀具,如加工磁盘、激光反射镜等。人造金刚石是除天然金刚石外最硬的材料,多用于有色金属及非金属材料的超精加工以及作磨料用。金刚石是碳的同素异形体,与碳易亲合,故金刚石刀具不宜加工含有碳的黑色金属。

3) 立方氮化硼(CBN) 由六方氮化硼(白石墨)在高温高压下转化而成。

表 1.6 常用硬质合金的牌号、性能及使用范围

类 型	牌 号	化 学 成 分 / %				力 学 性 能			使用性能			使 用 范 围	
		C	TiC	Co	其他	硬 度 HRA	抗弯强度 σ_{bb} /GPa	HRC	耐磨	耐冲击	耐热	材 料	加 工 性 质
钨钴类	YG3	97		3		97	1.08	78				铸铁, 有色金属	连续加工时精加工、半精加工
	YG6X	94		6		97	1.37	78				铸铁, 有色金属	精加工, 半精加工
	YG6	94		6		89.5	1.42	75	↑	↓	↑	铸铁, 有色金属	连续切削粗加工, 间断切削半精加工
	YG8	92		8		89	1.47	74				铸铁, 有色金属	间断切削粗加工
	YT5	85	5	10		89.5	1.37	75				钢	粗加工
钨钴钛类	YT14	78	14	8		90.5	1.25	77				钢	间断切削半精加工
	YT15	79	15	6		91	1.13	78	↓	↑	↓	钢	连续切削粗加工, 间断切削半精加工
	YT30	66	30	4		92.5	0.88	81				钢	连续切削精加工
	YA6	92		6		92	1.37	80	较好			冷铸铁, 有色金属、合金钢	半精加工
	YW1	84	6	6		92	1.28	80	较好	较好		难加工钢材	精加工、半精加工
镍钨钨钨类	YW2	82	6	8		91	1.47	78		好		难加工钢材	半精加工、粗加工
	YN10	15	62		TaC 1 Ni 12 Mo 10	92.5	1.08	81	好		好	钢	连续切削精加工

注:表中符号的意义如下:

Y——硬质合金;G——钴,其后数字表示合金中的含钴量;X——细晶粒合金;T——钛,其后数字表示合金中TiC的含量;A——含TaC(NbC)的钨钴类硬质合金;W——通用合金;N——用镍作粘结剂的硬质合金。

立方氮化硼刀具的硬度与耐磨性仅次于金刚石。它的耐热性可达 1300°C ,化学稳定性很高 ,在高温下与大多数铁族金属都不起化学反应。一般用于高硬度、难加工材料的精加工。

1.2.3 刀具几何角度

1. 刀具切削部分的组成

金属切削刀具的种类很多 ,各种刀具的结构尽管有的相差很大 ,但它们切削部分的几何形状都大致相同。普通外圆车刀是最基本、最典型的切削刀具 ,故通常以外圆车刀为基础来定义刀具切削部分的组成和刀具的几何参数。如图 1.21 所示 ,车刀由刀头、刀体两部分组成。刀头用于切削 ,刀柄用于装夹。刀具切削部分由三个面、两条切削刃和一个刀尖组成。

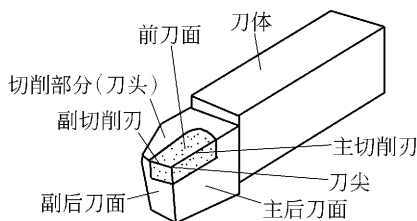


图 1.21 车刀切削部分的构成

- 1) 前刀面(A_{γ}) 切削过程中切屑流出所经过的刀具表面。
- 2) 主后刀面(A_{α}) 切削过程中与工件过渡表面相对的刀具表面。
- 3) 副后刀面(A'_{α}) 切削过程中与工件已加工表面相对的刀具表面。
- 4) 主切削刃(s) 前刀面与主后刀面的交线。它担负主要的切削工作。
- 5) 副切削刃(s') 前刀面与副后刀面的交线。它配合主切削刃完成切削工作。
- 6) 刀尖 主切削刃与副切削刃汇交的一小段切削刃。为了改善刀尖的切削性能 ,常将刀尖磨成直线或圆弧形过渡刃。

2. 车刀的标注角度

用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面称为参考系。参考系有两类 :
 ① 刀具标注角度参考系或静止参考系 :刀具设计、刃磨和测量的基准 ,用此定义的刀具角度称刀具标注角度 ;
 ② 刀具工作参考系 :确定刀具切削工作时角度的基准 ,用此定义的刀具角度称刀具工作角度。

为了便于测量车刀 ,在建立刀具静止参考系时 ,特作以下假设 :

- ① 不考虑进给运动的影响 ,即 $f=0$;
- ② 安装车刀时 ,刀柄底面水平放置 ,且刀柄与进给方向垂直 ;刀尖与工件回

转中心等高。

由此可见,静止参考系是在简化了切削运动和设立标准刀具位置的条件下建立的参考系。

(1) 正交平面参考系及其标注角度

1) 正交平面参考系

正交平面参考系由三个平面组成:基面 P_r 、切削平面 P_s 和正交平面 P_o , 组成一个空间直角坐标系,如图 1.22 所示。

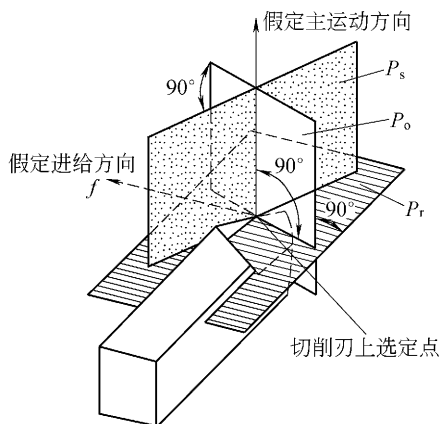


图 1.22 正交平面参考系

① 基面 P_r 指过主切削刃选定点,并垂直于该点切削速度方向的平面。车刀的基面可理解为平行刀具底面的平面。

② 切削平面 P_s 指过主切削刃选定点,与主切削刃相切,并垂直于该点基面的平面。

③ 正交平面 P_o 指过主切削刃选定点,同时垂直于基面与切削平面的平面。

2) 正交平面参考系标注角度

如图 1.23 所示,在正交平面内定义的角度有:

① 前角 γ_o 是指前刀面与基面之间的夹角。前刀面与基面平行时前角为零;刀尖位于前刀面最高点时,前角为正;刀尖位于前刀面最低点时,前角为负。

② 后角 α_o 是指后刀面与切削平面之间的夹角。刀尖位于后刀面最前点时,后角为正;刀尖位于后刀面最后点时,后角为负。

在基面内定义的角度有:

③ 主偏角 κ_r 是指主切削刃在基面上的投影与假定进给方向之间的夹角。主偏角一般在 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间。

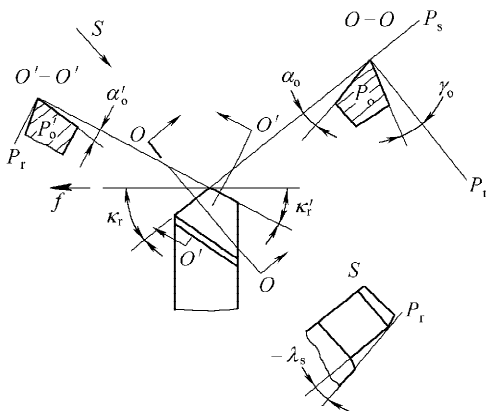


图 1.23 正交平面参考系标注角度

④ 副偏角 κ'_r 是指副切削刃在基面上的投影与假定进给反方向之间的夹角。

在切削平面内定义的角度有：

⑤ 刃倾角 λ_s 是指主切削刃与基面之间的夹角。切削刃与基面平行时，刃倾角为零；刀尖位于刀刃最高点时，刃倾角为正；刀尖位于刀刃最低点时，刃倾角为负。

过副切削刃上选定点且垂直于副切削刃在基面上投影的平面称为副正交平面。过副切削刃上选定点的切线且垂直于基面的平面称为副切削平面。副正交平面、副切削平面与基面组成副正交平面参考系。在副正交平面内定义的角度有：

⑥ 副后角 α'_0 是指副后刀面与副切削平面之间的夹角。

(2) 法平面参考系及其标注角度

在标注可转位刀具或大刃倾角刀具时，常用法平面参考系。如图 1.24 所示，法平面参考系由 P_r 、 P_s 、 P_n （法平面）三个平面组成。法平面 P_n 是过主切削刃某选定点，并垂直于切削刃的平面。

如图 1.25 所示，在法平面参考系内的标注角度有：

法前角 γ_n 是指在法平面内测量的前刀面与基面之间的夹角。

法后角 α_n 是指在法平面内测量的后刀面与切削平面之间的夹角。

其余角度与正交平面参考系的相同。

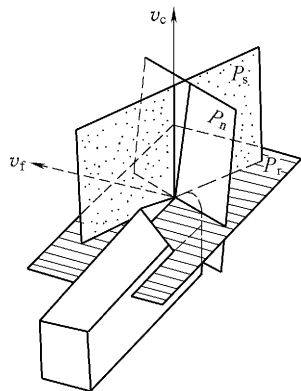


图 1.24 法平面参考系

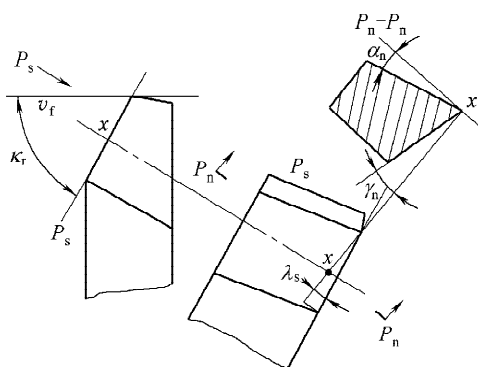


图 1.25 法平面参考系标注角度

法前角、法后角与前角、后角可由下列公式进行换算：

$$\tan \gamma_n = \tan \gamma_o \cos \lambda_s \quad (1.7)$$

$$\cot \alpha_n = \cot \alpha_o \cos \lambda_s \quad (1.8)$$

3. 车刀的工作角度

刀具标注角度是在假定运动条件和假定安装条件下定义的。在实际切削加工过程中,由于刀具受安装位置和进给运动的影响,刀具的参考平面发生了变化,刀具角度就应在工作参考平面内定义。在工作参考系里标注的角度称为车刀的工作角度。工作参考系的基面(\$P_{re}\$)、切削平面(\$P_{se}\$)、正交平面(\$P_{oe}\$)的位置与标注参考系不同,所以工作角度也发生了改变。工作角度记作 \$\gamma_{oe}\$、\$\alpha_{oe}\$、\$\kappa_{re}\$、\$\kappa'_{re}\$、\$\lambda_{se}\$、\$\alpha'_{oe}\$ 等。

(1) 刀具安装对工作角度的影响

1) 刀刃安装高度对工作角度的影响 车削时刀具的安装常会出现刀刃安装高于或低于工件回转中心的情况(如图 1.26 所示),工作基面、工作切削平面

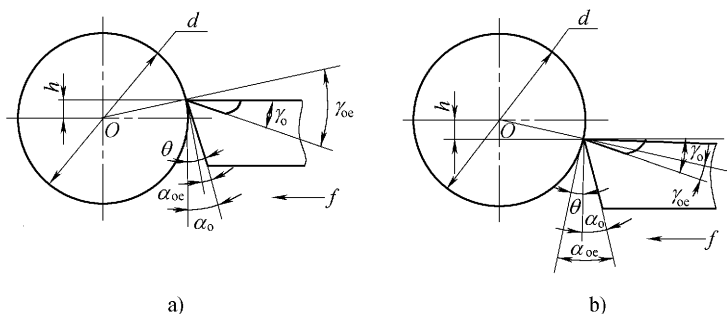


图 1.26 车刀安装高度对工作角度的影响

相对于标注参考系产生 θ 角的偏转,将引起工作前角和工作后角的变化: $\gamma_{oe} = \gamma_o \pm \theta$ $\alpha_{oe} = \alpha_o \mp \theta$ 。

2) 刀柄安装偏斜对工作角度的影响 在车削时会出现刀柄与进给方向不垂直的情况(如图 1.27 所示),刀柄垂线与进给方向产生 θ 角的偏转,将引起工作主偏角和工作副偏角的变化: $\kappa_{re} = \kappa_r \pm \theta$ $\kappa'_{re} = \kappa'_r \mp \theta$ 。

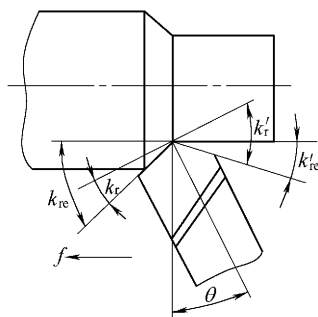


图 1.27 车刀安装偏斜对工作角度的影响

(2) 进给运动对工作角度的影响

1) 横向进给对工作角度的影响 车端面或切断时,车刀作横向进给,切削轨迹是阿基米德螺旋线(如图 1.28 所示),实际基面和切削平面相对于标注参考系都要偏转一个附加的角度 μ (μ 是主运动方向与合成切削运动方向之间的夹角 $\tan \mu = \frac{v_f}{v_c} = \frac{f}{\pi d}$ 称为合成切削速度角),将使车刀的工作前角增大,工作后角减小: $\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu$ $\alpha_{oe} = \alpha_o - \mu$ 。

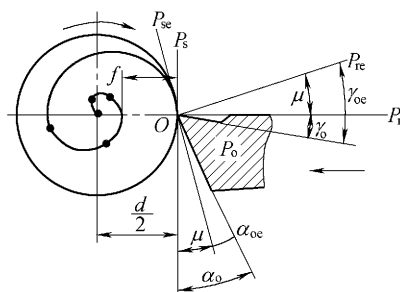


图 1.28 横向进给运动对工作角度的影响

2) 纵向进给对工作角度的影响 车外圆或车螺纹时,切削合成运动产生的加工表面为螺旋面(如图 1.29 所示),实际的基面和切削平面相对于标注参考

系都要偏转一个附加的角度 μ (角度 μ 与螺旋升角 μ_f 的关系为 $\tan \mu = \tan \mu_f \sin \kappa_r$
 $= \frac{f \sin \kappa_r}{\pi d}$) ,将使车刀的工作前角增大,工作后角减小 $\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu$ $\alpha_{oe} = \alpha_o - \mu_o$

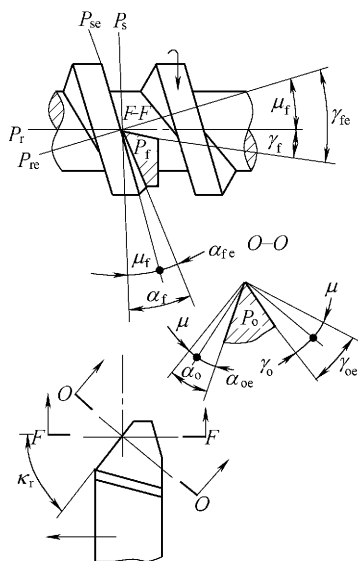


图 1.29 纵向进给运动对工作角度的影响

一般车削时,进给量比工件直径小得多,故角度 μ 很小,对车刀工作角度影响很小,可忽略不计。但若进给量较大时(如加工丝杆、多头螺纹),则应考虑角度 μ 的影响。车削右旋螺纹时,车刀左侧刃后角应大些,右侧刃后角应小些。或者使用可转角度刀架将刀具倾斜一个 μ 角安装,使左右两侧刃工作前后角相同。

1.2.4 刀具种类及选用

刀具可以分为单刃(单齿)刀具和多刃(多齿)刀具;标准刀具(如麻花钻、铣刀、丝锥)和非标准刀具(如拉刀、成形刀具等);定尺寸刀具(如扩孔钻、铰刀等)和非定尺寸刀具(如外圆车刀、直刨刀等);整体式刀具、装配式刀具和复合式刀具等。

根据用途和加工方法不同,通常把刀具分为以下类型:切刀(包括各种车刀、刨刀、插刀、成形车刀等)、孔加工刀具、拉刀、铣刀、螺纹刀具、齿轮刀具、自动化加工刀具等。

1. 车刀

车刀是金属切削加工中使用最广泛的刀具,它可以用来加工各种内、外回转体表面,如外圆、内孔、端面、螺纹,也可用于切槽和切断等。车刀按结构可分为整体式、焊接式、机夹重磨式、可转位式等(图 1.30)。目前硬质合金焊接式和可转位车刀应用最普遍,整体式结构一般仅用于高速钢车刀或尺寸较小的硬质合金刀具等;硬质合金机夹式车刀,尤其是可转位车刀在自动车床、数控机床和自动线上应用较为普遍。

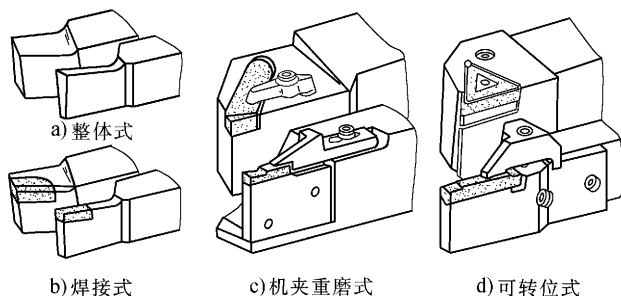


图 1.30 车刀结构

1) 可转位车刀 由刀杆、刀片、刀垫和夹紧元件组成,如图 1.31 所示。用机械夹固方式将刀片夹紧在刀杆上,切削刃用钝后,不需要重磨,只要松开夹紧装置,将刀片转过一个位置,重新夹紧后便可用新的一个切削刃继续进行切削,

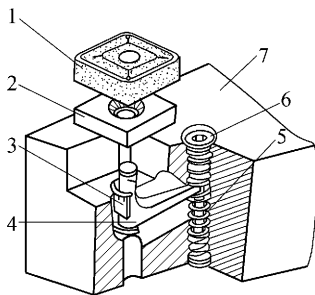


图 1.31 可转位车刀组成

1—刀片 2—刀垫 3—卡簧 4—杠杆 5—弹簧 6—螺钉 7—刀杆

当全部刀刃都用钝后可更换相同规格的新刀片。可转位车刀是车刀发展的主要方向。它有许多优点:①避免了焊接式车刀在焊接刀片时所产生的缺陷,刀具寿命一般比焊接式车刀提高 1 倍以上,并能使用较大的切削用量。②刀杆可重复使用多次,节约大量的刀杆材料。③可转位刀片的几何参数及断屑槽的形状是压制成形的(或用专门的设备刃磨),采用先进的几何参数,只要切削用量选择适当,完全能保证切削性能稳定,断屑可靠。④刀片转位、更换方便、迅速,并

能保持切削刃与工件的相对位置不变,从而减少辅助时间,提高生产效率。⑤ 刀片不焊接不刃磨,有利于涂层刀片的使用。而涂层刀片耐磨性、耐热性好,可提高切削速度和使用寿命。⑥ 减少了硬质合金、陶瓷、立方氮化硼等材料的消耗。⑦ 便于刀具的管理。

可转位车刀大都是利用刀片上的孔进行定位夹紧。对夹紧结构的要求是:夹紧可靠、定位精确、结构简单、操作方便,而且夹紧元件不应妨碍切屑的流出。

2) 成形车刀 是加工回转体成形表面的专用高效车刀。车刀的刃形是根据工件廓形设计的,又称样板车刀。它主要用于大批量生产,在半自动车床或自动车床上加工内外回转体成形表面,也可用于普通车床。成形车刀加工质量稳定、生产效率高、刀具使用寿命长。成形车刀按结构和形状分为平体成形车刀、棱体成形车刀和圆体成形车刀三类,见图 1.32。

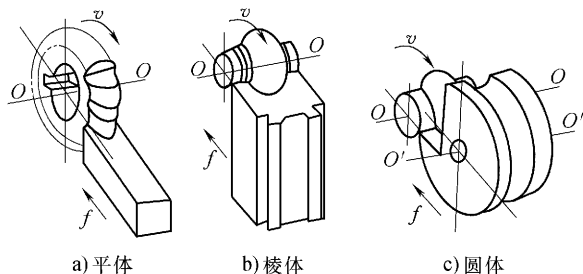


图 1.32 成形车刀类型

2. 孔加工刀具

(1) 麻花钻

麻花钻是应用最广的孔加工刀具,它是一种形状复杂的双刃钻孔或扩孔的标准刀具。一般用于孔的粗加工,也可用于加工螺纹底孔及高精度孔的预制孔。标准麻花钻是由柄部、颈部和工作部分 3 个部分组成,如图 1.33 所示。工作部分是钻头的主要部分,前端为切削部分,承担主要的切削工作;后端为导向部分,起引导钻头的作用,也是切削部分的后备部分。钻头的工作部分有两条对称的螺旋槽,是容屑和排屑的通道。切削部分由两个前刀面、两个后刀面、两个副后刀面组成。螺旋槽的螺旋面形成了钻头的前面,端部有两个近似于锥面(与工件孔底相对)的曲面为主后刀面,磨有两条棱边(与工件孔壁相对)形成副后刀面。螺旋槽与主后刀面的两条交线为主切削刃,两个主切削刃由钻芯连接,棱边与螺旋槽的两条交线为副切削刃,两主后刀面在钻芯处的交线构成了横刃。

麻花钻的主要几何参数有螺旋角 β (一般为 $25^\circ \sim 32^\circ$)、顶角 2ϕ ($2\phi = 118^\circ$)、横刃长度、横刃斜角 ψ 等。由于标准麻花钻存在切削刃长,前角变化大

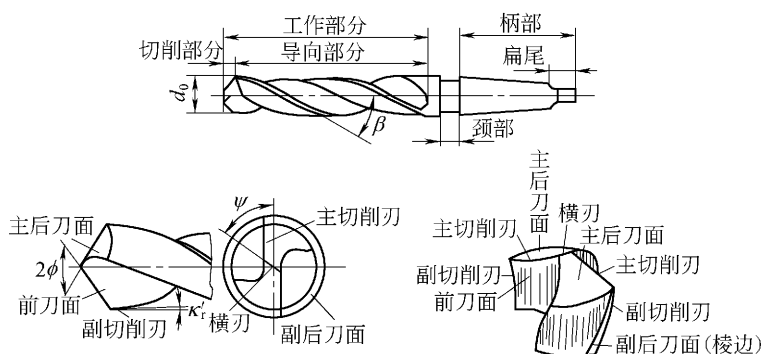


图 1.33 麻花钻的组成

(从外缘 30° 逐渐减小到钻芯 -30°) 横刃切削条件差, 排屑不畅等结构问题, 为提高钻孔的精度和效率, 常将标准麻花钻按特定方式修磨成“群钻”(图 1.34)。群钻的基本特征为: 三尖七刃锐当先, 月牙弧槽分两边, 一侧外刃开屑槽, 横刃磨得低窄尖。

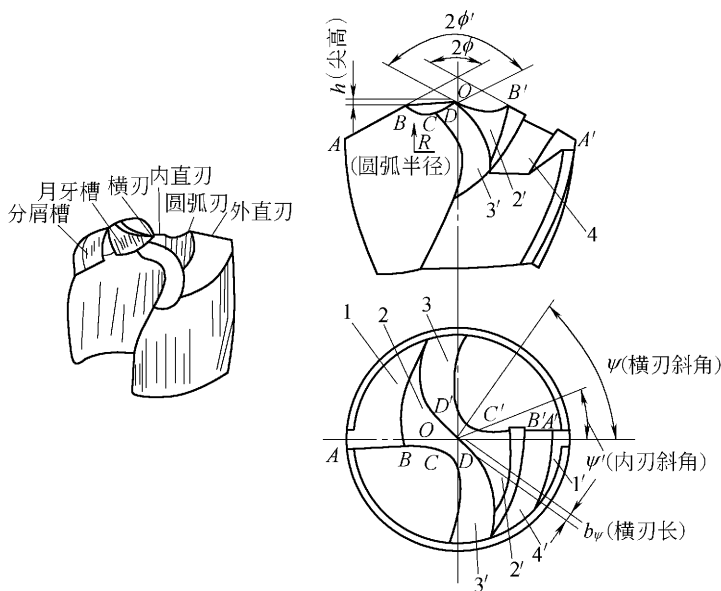


图 1.34 基本型群钻

1、1'—外刃后刀面 2、2'—月牙槽 3、3'—内刃前刀面 4、4'—分屑槽

(2) 扩孔钻和铰钻

1) 扩孔钻 扩孔钻是用于扩大孔径的刀具。它可用于孔的最终加工或铰孔、磨孔前的预加工。扩孔钻有高速钢整体式、硬质合金镶齿套式等形式,如图 1.35 所示。扩孔钻的外貌与麻花钻相似,但其齿数较多(常有 3~4 齿),容屑槽较浅,无横刃,导向性好,可获得较高的加工质量和生产效率。

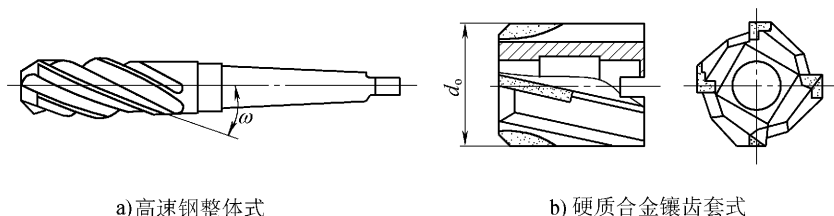


图 1.35 扩孔钻

2) 镗钻 镗钻用于加工圆柱形沉头孔、锥形沉头孔和凸台面等。图 1.36a)所示为带导柱平底镗钻,它在端面和圆周上有 3~4 个刀齿,前端有导柱,使沉孔及其端面和圆柱孔保持同轴度与垂直度。图 1.36b)为锥面镗钻,它的钻尖角有 60° 、 90° 、 120° 三种,用于加工中心孔和孔口倒角。图 1.36c)为端面镗钻,它仅在端面上有切削齿,用来加工孔的端面,其前端有导柱以保证端面和孔垂直。镗钻有高速钢整体结构、硬质合金镶齿结构等。

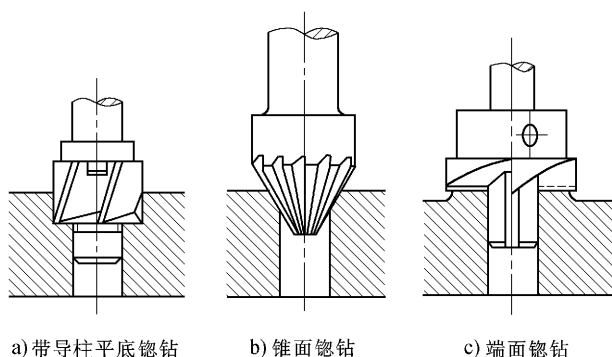


图 1.36 镗钻及加工示意图

(3) 铰刀

铰刀用于中小尺寸孔的半精加工和精加工。铰刀的齿数多(6~12 个),齿槽浅,刚性和导向性好,铰孔的加工精度可达 IT7、IT6 级,表面粗糙度值可达 $Ra1.6 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 。铰刀多为高速钢制造。铰刀的结构由工作部分、颈部和柄部组成(图 1.37),工作部分有切削部分和校准部分,校准部分有圆柱部分和倒锥

部分。铰刀圆柱校准部分的直径为铰刀的直径,它直接影响到被加工孔的尺寸精度及使用寿命。铰刀可分为手用铰刀和机用铰刀,手用铰刀分为整体式和可调整式,其工作部分较长,适用于单件小批生产或在装配中铰孔。机用铰刀分为带柄的和套式的。图 1.38 为常用铰刀的类型。

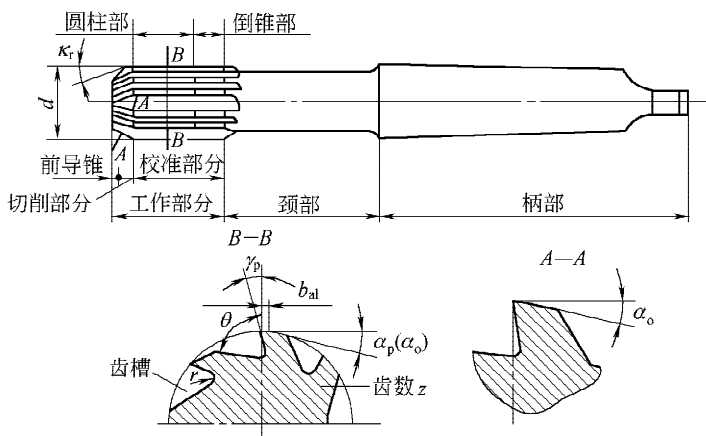


图 1.37 铰刀的结构

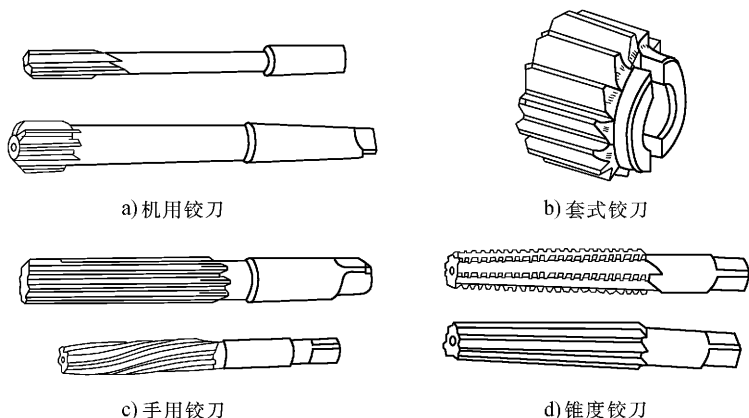


图 1.38 常用铰刀的类型

(4) 镗刀

镗刀是广泛使用的孔加工刀具,一般镗孔精度可达 IT9~7 级,精镗可达 IT6,表面粗糙度值为 $Ra1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$,镗孔能获得较高的位置精度,特别适合于箱体孔及较大直径孔的粗、精加工。镗刀按结构一般可分为单刃镗刀和双刃镗

刀。如图 1.39 所示为单刃镗刀,其结构简单、制造方便;调节和更换镗刀,可以加工尺寸不同的孔径,但调整费时,且精度不易控制。随着生产发展的需要,开

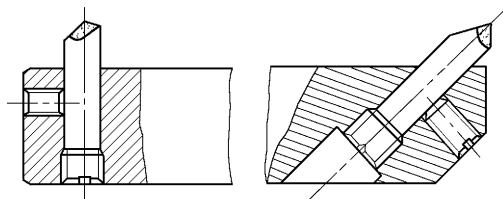


图 1.39 单刃镗刀

发了许多新型微调镗刀(如图 1.40)。双刃镗刀的特点是在对称的方向上有两个切削刃同时参与工作,因而可消除镗孔时背向力对镗杆的作用而产生的加工误差,双刃镗刀的尺寸直接影响镗孔精度,因此对镗刀和镗杆的制造要求较高。图 1.41 是用于批量较大且镗孔精度要求较高的调节式浮动镗刀。

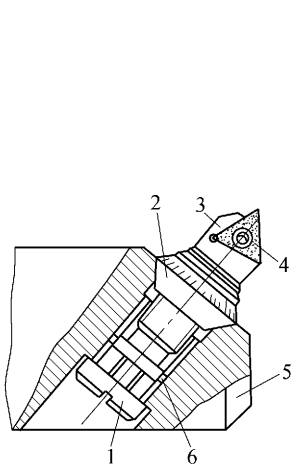


图 1.40 微调镗刀

- 1—紧固螺钉 2—微调螺母 3—镗刀头
4—刀片 5—镗杆 6—导向键

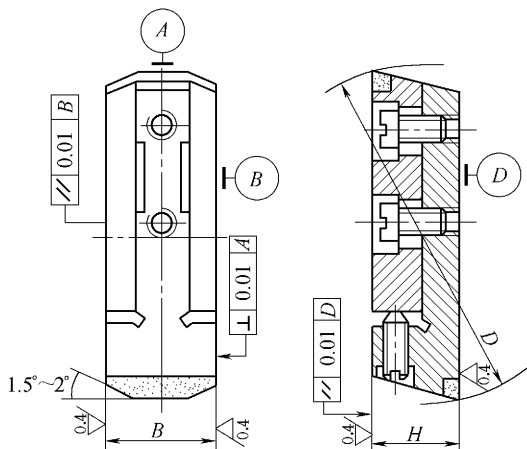


图 1.41 浮动镗刀

(5) 复合孔加工刀具

复合孔加工刀具是由两把或两把以上同类或不同类孔加工刀具组合而成的刀具。其特点是能保证各加工表面间的相互位置精度,生产率高,可减少机床台数。但复合刀具制造复杂,重磨和调整尺寸较困难。按零件工艺类型可分为同类和不同类工艺复合孔加工刀具,如图 1.42 和 1.43 所示。

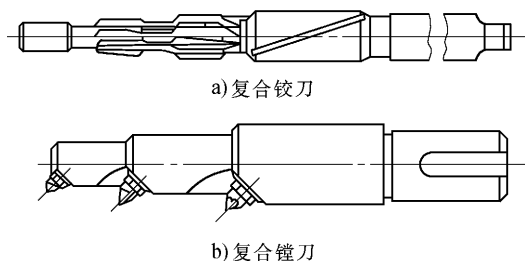


图 1.42 同类工艺复合孔加工刀具

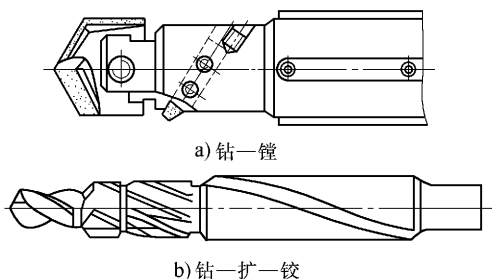


图 1.43 不同类工艺复合孔加工刀具

3. 拉刀

拉刀是利用拉刀上相邻刀齿尺寸的变化来切除加工余量。拉削后达到公差等级 IT9 ~ 7 级, 表面粗糙度为 $Ra3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。它能加工各种形状贯通的内外表面(见图 1.44) 精度和生产率高, 拉刀使用寿命长, 但制造较复杂, 成本高, 主要用于大批量生产中。拉刀按加工表面不同分为圆孔拉刀、花键拉刀、键槽拉

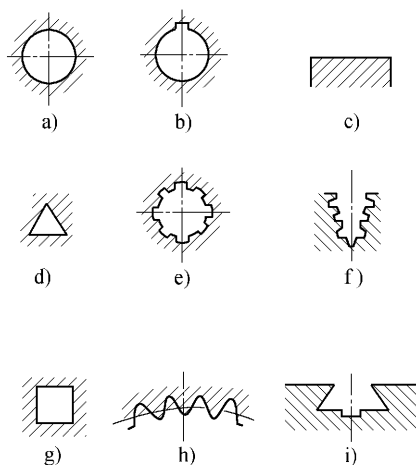


图 1.44 拉削的各种表面

刀、四方拉刀和平面拉刀等。圆孔拉刀包括柄部、颈部、过渡锥、前导部、切削齿、校准齿和后导部(如图1.45所示)。对于长而重的拉刀还有后柄。切削齿由粗切齿、过渡齿、精切齿组成。相邻刀齿的半径差称为齿升量 f_z ,粗切齿齿升量按加工材料性能选取,应尽量取大,一般取 $0.02 \sim 0.20 \text{ mm}$,精切齿齿升量一般取 $0.005 \sim 0.02 \text{ mm}$,过渡齿的齿升量是在粗切齿和精切齿之间逐齿递减,逐步提高加工孔的质量。校准齿齿升量等于零,起最后修光、校准拉削表面作用。

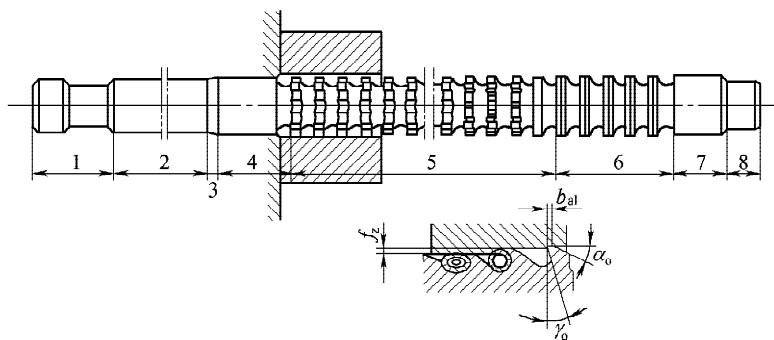


图 1.45 圆孔拉刀结构与切削部分的主要几何参数

1—前柄部 2—颈部 3—过渡锥 4—前导部 5—切削齿 6—校准齿 7—后导部 8—后柄部

4. 铣刀

铣刀是一种应用广泛的多刃回转刀具,可以加工平面、各种沟槽、螺旋表面、轮齿表面和成形表面等。铣刀的种类很多,结构不一,如图1.46所示,主要类型有:

(1) 圆柱形铣刀

一般用在卧式铣床上加工平面,可分为粗齿和细齿两种,分别用于粗加工和精加工。

(2) 硬质合金面铣刀

一般用于高速铣削加工中等宽度的平面。其结构有整体焊接式、机夹焊接式与可转位式,目前广泛采用机夹可转位式。和高速钢圆柱形铣刀相比,它的铣削速度较高,生产率高,加工表面质量也较好。可转位面铣刀的齿数分为粗、中、细齿三种,粗铣钢件时应选用粗齿面铣刀;半精铣、精铣钢件时可选用中齿面铣刀,精铣铸铁件或加工薄壁铸铁件时宜选用细齿面铣刀。

(3) 三面刃铣刀

三面刃铣刀在圆周表面有主切削刃,两侧端面上都有副切削刃,主要用于加工沟槽和台阶面。三面刃铣刀的刀齿结构可分为直齿、错齿和镶齿三种。除了高速钢三面刃铣刀外,还有硬质合金焊接三面刃铣刀及硬质合金机夹三面刃铣

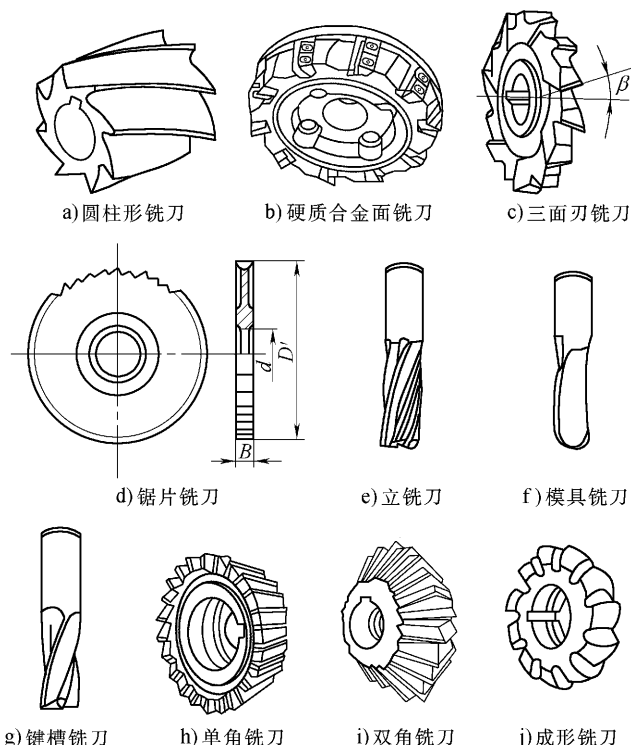


图 1.46 常用的几种铣刀

刀。

(4) 锯片铣刀

用于切削窄槽或切断工件。

(5) 立铣刀

一般用于加工平面、凹槽、阶台面以及利用靠模加工成形表面。其圆周面上的切削刃是主切削刃，端面上的切削刃没有通过中心，是副切削刃，故切削时不宜作轴向进给运动。

(6) 模具铣刀

用于加工模具型腔或凸模成形表面，在模具制造中广泛应用。它是由立铣刀演变而成。按工作部分外形可分为圆锥形平头、圆柱形球头、圆锥形球头等。硬质合金模具铣刀可取代金刚石锉刀和磨头来加工淬火后硬度小于 65 HRC 的各种模具，它的切削效率可提高几十倍。

(7) 键槽铣刀

主要用于加工圆头封闭键槽。它外形类似立铣刀，有两个刀齿，端面切削刃

是主切削刃,圆周切削刃是副切削刃,故工作时能沿轴线作进给运动。

(8) 角度铣刀

一般用于加工带角度的沟槽和斜面,分单角铣刀和双角铣刀。单角铣刀的圆锥切削刃为主切削刃,端面切削刃为副切削刃;双角铣刀的两圆锥面上的切削刃均为主切削刃,它又分为对称和不对称双角铣刀。

(9) 成形铣刀

成形铣刀是在铣床上加工成形表面的专用刀具,其刃形是根据工件廓形设计计算的。它具有较高的加工精度和生产率,因此得到广泛应用。成形铣刀按齿背形状可分为尖齿和铲齿两类。尖齿成形铣刀制造与重磨的工艺复杂,故目前生产中较少应用。铲齿成形铣刀在不同的轴向截面内具有相同的截面形状,磨损后沿前刀面刃磨,仍可保持刃形不变。所以重磨工艺较简单,故在生产中得到广泛应用。刃形复杂的一般都作成铲齿成形铣刀。

5. 螺纹刀具

螺纹刀具指加工内、外螺纹表面的刀具。

(1) 螺纹车刀和螺纹梳刀

螺纹车刀 是一种由螺纹牙形来决定刀具刃形的简单成形车刀,可用于加工各种形状、尺寸及精度的内、外螺纹。但生产率低,常用于单件小批生产。

螺纹梳刀 实质上是多齿的成形车刀,有平体、棱体和圆体三种形式(见图 1.32),其刀齿结构有切削部分和校准部分,只需一次进给,就能加工出所需螺纹,生产率较高。

(2) 板牙与丝锥

圆板牙 圆板牙是用来加工外螺纹的标准刀具,其外形很像一个圆螺母,沿轴向钻 3~8 个容屑孔以形成切削刃(图 1.47)。加工时既可手动,也可机动,只需一次就能加工出全部螺纹。圆板牙结构简单,价格低廉,使用方便,但加工精度较低,在单件小批生产中应用很广。

丝锥 丝锥是用来加工内螺纹的标准刀具,应用极广。其基本结构是一个

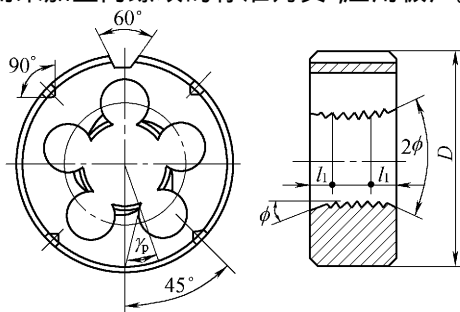


图 1.47 圆板牙

轴向开槽的螺杆,工作部分由切削锥与校准部分组成。丝锥的类型很多,常见的主要有手用丝锥、机用丝锥等(图 1.48)。手用丝锥用手操作,常用于单件小批生产和修配工作。为减轻切削负荷,通常采用 2~3 把丝锥组成的成组丝锥依次切削。机用丝锥因其切削速度较高,一般用于成批大量生产中。

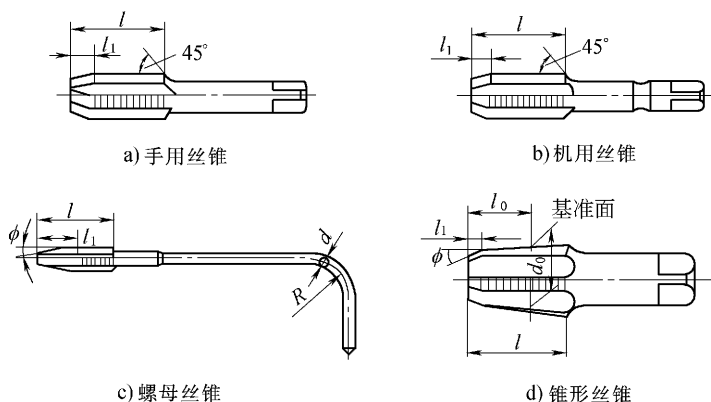


图 1.48 常用的几种丝锥

(3) 螺纹铣刀(图 1.49)

盘形螺纹铣刀用于粗切蜗杆或梯形螺纹。切削时,铣刀轴线与工件轴线倾斜一个螺纹升角 λ ,铣刀旋转的同时,工件相对铣刀作螺旋进给运动,即可加工出所需螺纹。

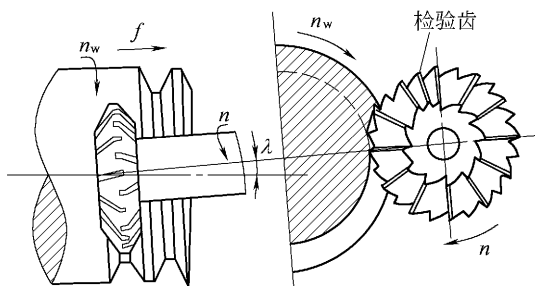


图 1.49 螺纹铣刀

(4) 螺纹滚压工具(图 1.50)

螺纹滚压工具是无屑加工螺纹的高效工具,适合于滚压塑性材料。该法效率高,精度好,螺纹强度高,工具寿命长,广泛用于制造螺纹标准件、丝锥、螺纹量规等大批量生产中。

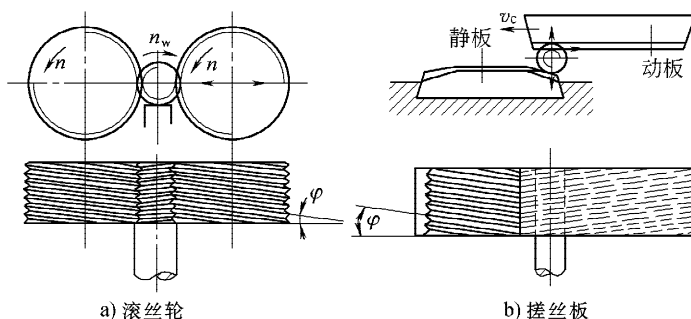


图 1.50 螺纹滚压工具

滚丝轮 由两个组成,其螺纹旋向均与工件的螺纹旋向相反。两滚轮平行安装,在轴向相互错开半个螺距。加工时,两轮同向等速旋转,动轮沿径向压向静轮,迫使工件转动,工件被滚压形成螺纹。

搓丝板 由两块组成,其齿纹斜角均与工件的螺旋方向相反。两板平行安装,相互错开半个螺距。加工时,动板压向静板,迫使工件转动,工件被滚压形成螺纹。

6. 齿轮刀具

齿轮刀具是用于切削齿轮齿形的刀具。齿轮刀具结构复杂,种类较多。按齿形加工的工作原理,齿轮刀具可分为成形法和展成法两大类。

成形法齿轮刀具刃形与被加工齿轮齿槽的形状完全或近似相同。通常适用于加工直齿、斜齿圆柱齿轮、斜齿齿条等。常用的成形法齿轮刀具主要有:盘形齿轮铣刀、指状齿轮铣刀、齿轮拉刀等,如图 1.51 所示。齿轮铣刀结构简单,制造容易,成本低,可在普通铣床上加工齿轮,但加工精度和生产率较低,适用于单件小批生产和修配。

展成法齿轮刀具利用齿轮的啮合原理来加工齿轮。切齿时,刀具就相当于一个齿轮,它与被加工齿轮作无侧隙啮合,工件齿形是由刀具齿形运动轨迹包络

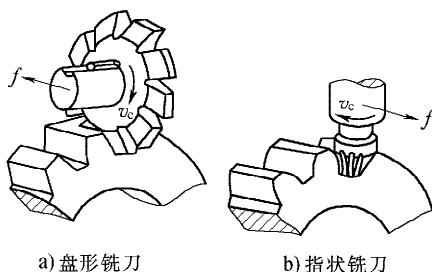


图 1.51 成形齿轮铣刀

而成的。被加工齿轮的精度和生产率较高,刀具通用性好,同一把刀具可加工模数、压力角相同而齿数不同的齿轮。生产中已被广泛使用。这类刀具主要有:

(1) 齿轮滚刀(图 1.52)

可加工直齿、斜齿圆柱齿轮,生产率较高,应用最广泛。为了使滚刀能切出正确的齿形,滚刀切削刃应当分布在蜗杆的同一螺旋表面上,这个蜗杆称为滚刀的基本蜗杆。滚刀的基本蜗杆有:渐开线、阿基米德和法向直廓三种。理论上,加工渐开线齿轮应用渐开线蜗杆,但其制造困难,而阿基米德蜗杆轴向剖面的齿形为直线,易于制造,生产中常用阿基米德蜗杆代替渐开线蜗杆。为使基本蜗杆形成刀刃,要对其开槽,以形成前刀面和前角。模数 1~10 mm 标准齿轮滚刀均为零前角直槽。为了形成后角,滚刀的顶刃和侧刃都需铲齿和铲磨。

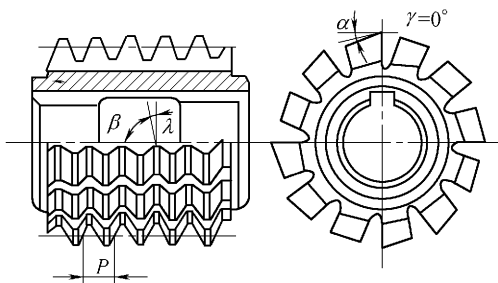


图 1.52 齿轮滚刀

标准齿轮滚刀精度分为四级:AA、A、B、C。加工时应按齿轮要求的精度,选用相应的齿轮滚刀。一般,AA 级滚刀可加工 6、7 级齿轮;A 级可加工 7、8 级齿轮;B 级可加工 8、9 级齿轮;C 级可加工 9、10 级齿轮。

采用滚刀新材料,对提高齿轮加工的精度和生产率有重大意义。硬质合金滚刀可对硬齿面齿轮进行半精滚或精滚。小模数的硬质合金滚刀采用整体结构形式,中等模数的硬质合金滚刀有焊接式与镶片式等结构。图 1.53 为硬质合金刮削滚刀,采用 -30° 前角,用于精加工 45~64 HRC 的硬齿面。一般硬齿面精加工滚刀的前角也可采用零度或较小的负前角。经 TiN 等涂层后的高速钢齿轮滚刀,刀具寿命提高 5~10 倍,最高达 20 倍,是齿轮刀具发展的又一个重要方向。

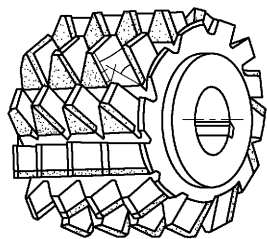


图 1.53 硬质合金刮削滚刀

(2) 插齿刀(图 1.54)

可加工直齿轮、内齿轮、多联齿轮、人字齿轮和齿条等。标准直齿插齿刀按其结构特点,可分为盘形、碗形和带锥柄形三种类型,盘形插齿刀主要用于加工

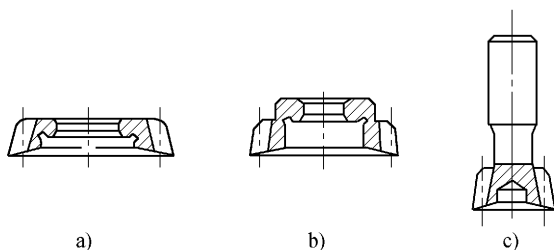


图 1.54 插齿刀的类型

直齿外齿轮及大模数的内齿轮,碗形插齿刀主要用于加工多联齿轮和带凸肩的齿轮,锥柄插齿刀主要用于加工内齿轮。

盘形和碗形插齿刀的精度分为 AA、A、B 三级,分别用于加工精度为 6、7、8 级的齿轮,锥柄插齿刀精度分为 A、B 级,分别用于加工精度为 7、8 级的齿轮。应根据被加工齿轮的传动平稳性精度等级选用。

使用硬质合金插齿刀可精加工淬硬(45~62 HRC)的齿轮。硬质合金插齿刀的顶刃作成负前角,一般为 -5° ,使两侧切削刃获得相应的负刃倾角,顶刃后角一般为 $6^\circ \sim 9^\circ$,如图 1.55 所示。

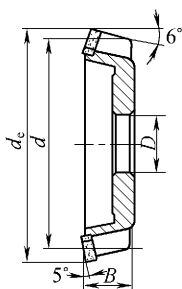


图 1.55 硬质合金插齿刀

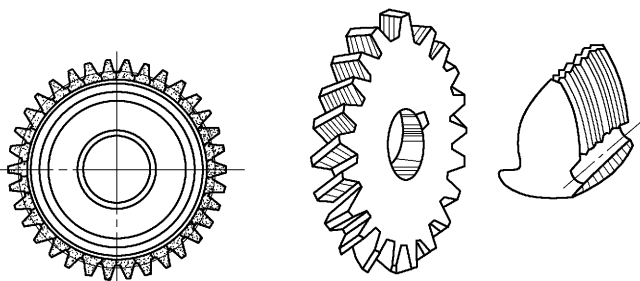


图 1.56 剃齿刀

(3) 剃齿刀(图 1.56)

用于未淬硬的直齿、斜齿圆柱齿轮的精加工。通用剃齿刀的制造精度分为 A、B、C 三级,分别加工 6、7、8 级齿轮,剃齿刀的螺旋角有 15° 、 10° 、 5° 三种, 15° 和 5° 应用最广, 15° 多用于加工直齿圆柱齿轮, 5° 多用于加工斜齿轮和多联齿轮中的小齿轮。剃削齿轮前,需用专用的剃前滚刀或剃前插齿刀来加工齿形并留有剃削余量。剃齿刀生产率高,寿命长,但价格贵,在成批大量生产中使用较多。

1.2.5 砂轮

1. 砂轮参数

砂轮是磨削加工常用的一种工具,是在硬质磨料中加入结合剂,经压坯、干

燥、焙烧而制成的。磨料、结合剂与气孔三者构成了砂轮三要素。砂轮的特性主要由磨料、粒度、结合剂、硬度和组织五方面要素来决定。

1) 磨料 磨料即砂粒,是构成砂轮的主要成分。磨料应具备很高的硬度、耐磨性、耐热性和韧性,才能承受磨削时的热和磨削力,还要具有相当锋利的形状,以利磨削金属。天然磨料有金刚砂、天然刚玉、金刚石等。目前常用的磨料大多为人造磨料,可分为氧化物系、碳化物系和超硬磨料(人造金刚石、立方氮化硼等)。各种磨料的名称、代号、颜色、性能和用途等见表 1.7。

2) 粒度 粒度指磨料颗粒的大小。通常把磨料粒度按大小分为磨粒和微粉两类。颗粒尺寸大于 $40\text{ }\mu\text{m}$ 的磨料称为磨粒,用机械筛分法决定其粒度号。号数就是该种颗粒刚能通过筛网号,即每英寸(25.4 mm)长度上的筛孔数。粒度号为 $8^\# \sim 240^\#$,例如 $40^\#$ 粒度是指磨粒刚可通过每英寸长度上有 40 个孔眼的筛网。粒度号越大,颗粒尺寸越小。颗粒尺寸小于 $40\text{ }\mu\text{m}$ 者称为微粉,其尺寸用显微镜分析法测量。微粉以颗粒最大尺寸的微米数为颗粒号数,并在其前加 W。例如 W20 表示磨粒的最大尺寸为 $20\text{ }\mu\text{m}$ 。磨料的粒度将直接影响磨削表面质量和生产率,砂轮粒度的选择原则见表 1.7。

3) 结合剂 结合剂起粘结磨粒的作用,使砂轮具有一定的形状和强度,且对砂轮的硬度、耐冲击性、耐腐蚀性、耐热性及砂轮寿命有直接影响。常用的结合剂见表 1.7。此外,还有金属结合剂(M),主要用于制作金刚石砂轮。

4) 硬度 砂轮的硬度是指在磨削力作用下,磨粒从砂轮表面脱落的难易程度。它主要取决于磨粒与粘合剂的粘结强度,而与磨粒本身的硬度是两个不同的概念。砂轮硬度高,磨粒不易脱落;硬度低,则易脱落。砂轮的硬度从低到高分 16 等级,见表 1.7。砂轮硬度的选用原则为:

① 半精磨与粗磨相比,应选用较软的砂轮,以免工件发热而烧伤表面,但精磨或成形磨削时,为使砂轮廓形保持较长时间,则应选用较硬的砂轮。

② 砂轮与工件磨削接触面积大时,磨粒参加切削的时间较长,较易磨损,应选用较软的砂轮。

③ 工件材料越硬,应选用越软的砂轮。因为硬材料易使磨粒磨损,使用较软的砂轮可使磨钝的磨粒及时脱落。

④ 磨削有色金属(铝、黄铜)等软材料时,应选用较软的砂轮。这是因为这些材料易使砂轮堵塞,选用较软的砂轮可使堵塞处较易脱落,露出锋利的新磨粒。

5) 组织 砂轮的组织表示砂轮中磨料、结合剂、气孔三者之间的比例关系。磨料在砂轮体积中所占的比例越大,砂轮的组织越紧密,气孔越少;反之,则组织疏松,气孔多。砂轮的组织号及用途见表 1.7。组织号越大,磨料所占的体积越小,砂轮越疏松,因气孔越多越大,砂轮就不易被切屑堵塞,切削液和空气也易进

砂 轮 组 成 要 素

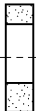


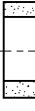
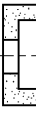



磨料	系列	名称	代号	颜色	性 能			适 用 范 围														
					硬度较低,韧性较好																	
					较 A 硬度高,磨粒锋利,韧性差																	
					韧性比 WA 好																	
碳化物	氧化 物	棕刚玉	A	棕褐色	硬度较低,韧性较好			磨削碳素钢、合金钢、可锻铸铁与青铜														
		白刚玉	WA	白色	较 A 硬度高,磨粒锋利,韧性差																	
		铬刚玉	PA	玫瑰红色	韧性比 WA 好																	
		黑碳化硅	C	黑色带光泽	比刚玉类硬度高,导热性好,但韧性差																	
超硬磨料	碳化物	绿碳化硅	GC	绿色带光泽	较 C 硬度高,导热性好,韧性较差			磨削淬硬的高碳钢、合金钢、高速钢、磨削薄壁、成形零件														
		碳化硼	BC	黑色	比刚玉、C、GC 都硬、耐磨,高温易氧化																	
		人造金刚石	D	白,淡绿,黑色	硬度最高,耐热性较																	
		立方氮化硼	CBN	棕黑色	硬度仅次于 D,韧性较 D 好																	
砂轮组成要素	类别	粒 度 号	适 用 范 围																			
			荒磨																			
			一般磨削,加工表面粗糙度可达 $Ra0.8\mu m$																			
			半精磨、精磨和成形磨削,加工表面粗糙度可达 $Ra0.16\sim0.8\mu m$																			
微粉	磨粒	8 [#]	10 [#]	12 [#]	14 [#]	16 [#]	20 [#]	22 [#]	24 [#]	精磨、精密磨、超精磨、刀具刃磨、珩磨		磨削高性能高速钢、不锈钢、耐热钢及其他难加工材料										
		30 [#]	36 [#]	40 [#]	46 [#]																	
		54 [#]	60 [#]	70 [#]	80 [#]	90 [#]	100 [#]															
		120 [#]	150 [#]	180 [#]	220 [#]	240 [#]																
结合剂	微粉	W ₆₃	W ₅₀	W ₄₀	W ₂₈	W ₂₀	W ₁₄	W ₁₀	W ₇	W ₅	W _{3.5}	W _{2.5}	W _{1.5}	W _{1.0}	W _{0.5}	精磨、精密磨、超精磨、珩磨、螺纹磨 超精密磨、镜面磨、精研,加工表面粗糙度可达 $Ra0.05\sim0.012\mu m$						
硬 度	名称	代号	特 性					适 用 范 围														
			V	耐热、耐油和耐酸、碱的侵蚀,强度较高,较脆					除薄片砂轮外,能制成各种砂轮													
			B	强度高,富有弹性,具有一定抛光作用,耐热性差,不耐酸碱					荒磨砂轮、磨窄槽,切断用砂轮,高速砂轮,镜面磨砂轮													
			R	强度高,弹性更好,抛光作用好,耐热性差,不耐油和酸,易堵塞					磨削轴承沟道砂轮、无心磨导轮、切削薄片砂轮、抛光砂轮													
组 织	等级	超 软			软			中 软			中 硬			硬			超 硬					
		D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T		Y				
		磨未淬硬钢选用 L~N,磨淬火合金钢选用 H~K,高表面质量磨削时选用 K~L,刃磨硬质合金刀具选用 H~J																				
组 织	组织号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14						
		62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34						
		成形磨削,精密磨削															磨削淬火钢,刀具刃磨		磨削韧性大而硬度不高的材料		磨削热敏感性大的材料	

入磨削区域,可改善散热条件,减小工件因发热而引起的变形和烧伤现象。但疏松类砂轮,因磨粒含量少,容易失去正确的廓形,降低被加工表面的磨削精度,增大其表面粗糙度值。生产中常用的是中等组织(组织号为4~7号)的砂轮。一般砂轮上若未标注组织号,即为中等组织。

2. 砂轮种类及用途

根据不同的用途、磨削方式和磨床类型,将砂轮制成各种形状和尺寸,并标准化,见表1.8。砂轮的特性代号一般标注在砂轮端面上,用以表示砂轮的各种特性,其顺序是:形状、尺寸、磨料、粒度号、硬度、组织号、结合剂及允许最高线速度。例如:PSA400×100×127A60L5B35即表示砂轮的形状为双面凹砂轮,尺寸外径为400 mm,厚度为100 mm,内径为127 mm,磨料为棕刚玉(A),粒度为60#,硬度为中软(L),组织号为5号(中等),结合剂为树脂(B),最高线速度为35 m/s。

表 1.8 常用砂轮的形状及用途

名称	平面砂轮	双斜边砂轮	双面凹砂轮	筒形砂轮	杯形砂轮	薄片砂轮	碗形砂轮	碟形砂轮
代号	P	PSX	PSA	N	B	PB	BW	D
形状								
用途	用于外圆磨、内圆磨、平面磨、无心磨、工具磨、砂轮机等	主要用于磨削齿轮齿面和单线螺纹	可用于外圆磨削和刃磨刀具,也可用于无心磨	主要用于立式平面磨床	主要用于刃磨刀具,也可用于外圆磨	适用于切断和开槽等	常用于刃磨刀具,也用于导轨磨削	适用于磨削铣刀、铰刀、拉刀等

1.3 夹具

1.3.1 机床夹具概述

1. 机床夹具的作用

夹具是一种常用的工艺装备。在机械制造过程中,夹具的使用非常普遍,机

机床夹具通常有三种分类方法,即分别按应用范围、使用机床、夹具动力源来分类,如图 1.59 所示。

图 1.59 机床夹具的分类

3. 夹具的组成

虽然机床夹具的种类繁多,但它们的组成均可概括为下面五个部分。

(1) 定位元件

定位元件的作用是确定工件在夹具中的正确位置。

在图 1.58 中,夹具上的定位销 6 及其端面是定位元件,通过它们使工件在夹具中占据正确的位置。

(2) 夹紧装置

夹紧装置的作用是将工件夹紧夹牢,保证工件在加工过程中位置不变。夹紧装置包括夹紧元件或其组合以及动力源。图 1.58 中的螺杆(与圆柱销合成的一个零件)、螺母 5 和开口垫圈 4 组成了夹紧装置。

(3) 对刀及导向装置

对刀及导向装置的作用是迅速确定刀具与工件间的相对位置,防止加工过程中刀具的偏斜。图 1.58 中的钻套 1 与钻模板 3 就是为了引导钻头而设置的导向装置。

(4) 夹具体

夹具体是机床夹具的基础件,如图 1.58 中的件 7,通过它将夹具的所有部分连接成一个整体。

(5) 其他装置或元件

机床夹具除有上述五部分外,还有一些根据需要设置的其他装置或元件,如分度装置、夹具与机床之间的连接元件等。

1.3.2 工件的定位

工件在加工前,必须使工件在机床上或夹具中占有某一正确的位置,这个过程称为定位。为了使定位好的工件在加工过程中始终保持正确的位置,不受切削力、惯性力等力的作用而发生位移,还需要将工件压紧夹牢,这个过程称为夹紧。定位和夹紧的整个过程合称为装夹。

工件的装夹不仅影响加工质量,而且对生产率、加工成本及操作安全都有直接影响。

1. 工件定位的方式

(1) 直接找正定位

此法是用百分表、划线盘或目测直接在机床上找正工件,使其获得正确位置

的定位方法。直接找正时工件的定位基准是所找正的表面。如图 1.60 所示。图 a) 为在磨床上用四爪单动卡盘装夹套筒磨内孔, 先用百分表找正工件的外圆再夹紧, 以保证磨削后的内孔与外圆同轴, 工件的定位基准是外圆。图 b) 为在牛头刨床上用直接找正法刨槽, 以保证槽的侧面与工件右侧面平行, 工件的定位基准是右侧面。直接找正法生产率低, 找正精度取决于工人的技术水平, 一般多用于单件小批生产或位置精度要求特别高的工件。

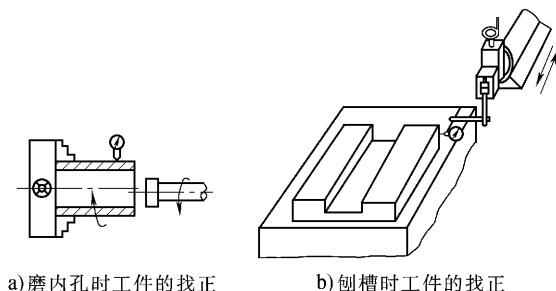


图 1.60 直接找正定位

(2) 划线找正定位

此法是先在毛坯上按照零件图划出中心线、对称线和各待加工表面的加工线及找正线(找正线和加工线之间的距离一般为 5 mm), 然后将工件装上机床, 按照划好的线找正工件在机床上的正确位置。划线找正时工件的定位基准是所划的线。如图 1.61 所示。图 a) 为某箱体的加工要求(局部), 划线过程如下: ① 找出铸件孔的中心 O , 并划出孔的中心线 I 和 II, 按尺寸 A 和 B 检查 E 、 F 面的余量是否足够, 如果不够再调整中心线 I; ② 按照图纸尺寸 A 要求, 以孔中心为划线基准, 划出 E 面的找正线 III; ③ 按照图纸尺寸 B 划出 F 面的找正线 IV, 见图 b)。加工时, 将工件放在可调支承上, 通过调整可调支承的高度来找正划好的线 III, 见图 c)。这种定位方法生产率低, 精度低, 一般多用于单件小批生产中加工复杂而笨重的零件, 或毛坯精度低而无法直接采用夹具定位的场合。

(3) 夹具定位

夹具是按照被加工工序要求专门设计的, 夹具上的定位元件能使工件相对于机床与刀具迅速占有正确位置, 不需要划线和找正就能保证工件的定位精度(图 1.58)。用夹具定位生产率高, 定位精度较高, 广泛用于成批及大量生产中。

2. 工件的定位原理

(1) 六点定则

工件在未定位前, 可以看成是空间直角坐标系中的自由物体, 它可以沿与三个坐标轴的平行的方向放在任意位置, 即具有沿着三个坐标轴移动的自由度, 记

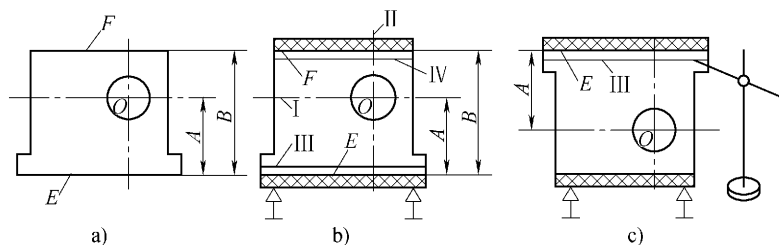


图 1.61 划线找正定位

为 \vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{z} (图 1.62); 同样, 工件沿三个坐标轴转角方向的位置也是可以任意放置的, 即具有绕三个坐标轴转动的自由度, 记为 \vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{z} 。因此, 要使工件在夹具中占有一致的正确位置, 就必须对工件的自由度加以限制。

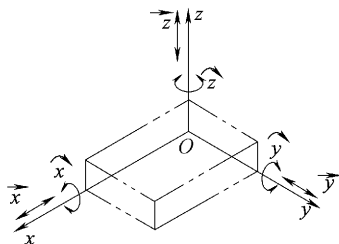


图 1.62 工件的六个自由度

在实际应用中, 通常用一个支承点(接触面积很小的支承钉)限制工件一个自由度, 这样, 用空间合理布置的六个支承点限制工件的六个自由度, 使工件的位置完全确定, 称为“六点定位规则”, 简称“六点定则”。例如图 1.63a) 所示长方体, 在其底面布置 3 个不共线的支承点 1、2、3, 限制 \vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{z} 三个自由度; 在侧面布置两个支承点 4、5, 限制 \vec{y} 、 \vec{z} 两个自由度; 并在端面布置一个支承点 6, 限制 \vec{x} 自由度。即用图 1.63b) 的定位方式可限制长方体的 6 个自由度。

必须注意, 六个支承点的位置必须合理分布, 否则不能有效地限制六个自由度。如上例中, xoy 平面的三个支承点应成三角形分布, 且三角形面积越大, 定位越稳定。 xoz 平面上的两个支承点的连线不能与 xoy 平面垂直, 否则不能限制 \vec{z} 自由度。

例如在图 1.64 所示圆环形工件上钻孔, 要求保证所钻孔的轴线至左端面 A 的距离并与端面平行, 保证与大孔轴线正交且通过键槽的对称中心。现用图 1.64c) 所示的定位方案, 工件端面 A 与夹具短圆柱销 B 的台阶面接触, 限制 \vec{y} 、 \vec{x} 、 \vec{z} 三个自由度; 工件内孔与短圆柱销外圆配合, 限制 \vec{x} 、 \vec{z} 两个自由度; 嵌入

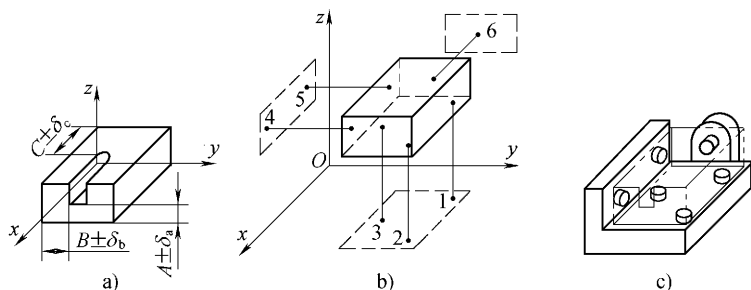


图 1.63 长方体定位时支承点的分布

键槽的销 C 限制 \vec{y} 自由度。这样 相当于用六个支承点限制了工件的六个自由度。

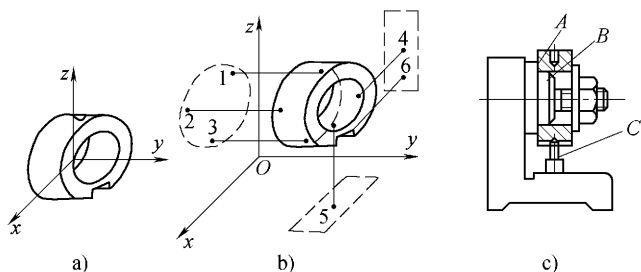


图 1.64 圆环形工件的六点定位

对于工件的定位,可能会有两种误解,其一是:工件只要被夹紧,其位置不能移动了,就定位了。我们讲的工件定位,是指一批工件在夹紧前要占有一致的、正确的位置(暂不考虑定位误差的影响)。而工件在任何位置均可被夹紧,并没有保证一批工件在夹具中的一致位置。其二是:工件定位后,仍具有与定位支承相反方向的移动或转动可能。这是没有注意到定位原理中所称的限制自由度,必须使工件的定位面与定位支承点保持接触。如果始终保持接触,就不会有相反方向的移动或转动可能性了。

(2) 限制工件自由度与加工要求的关系

在图 1.65a) 中,铣平面要加工的尺寸为 $A \pm \delta_a$, 工件定位时要限制的自由度为 \vec{z} 、 \vec{x} 、 \vec{y} ; 在图 1.65b) 中,铣通槽要加工的尺寸是 $A \pm \delta_a$ 、 $B \pm \delta_b$, $A \pm \delta_a$ 要限制的自由度与图 1.65a) 相同,而 $B \pm \delta_b$ 要限制的自由度是 \vec{y} 、 \vec{z} , 因此工件定位时共要限制的自由度为五个; 在图 1.63a) 中,铣不通槽要加工的

尺寸是 $A \pm \delta_a$ 、 $B \pm \delta_b$ 、 $C \pm \delta_c$ ，对加工尺寸 $A \pm \delta_a$ 、 $B \pm \delta_b$ ，要限制的自由度与图 1.65b) 相同，对于 $C \pm \delta_c$ ，要限制的自由度为 \vec{x} ，这样，工件定位时六个自由度全部要限制。

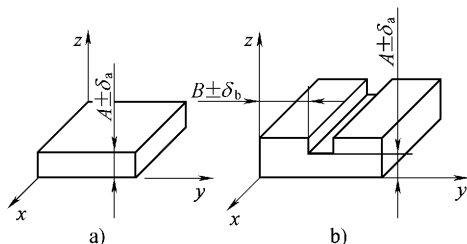


图 1.65 限制自由度与加工要求的关系

完全定位：工件六个自由度全部被限制的定位，称为完全定位。这时，工件在夹具中具有惟一的确定位置。当工件在坐标三个方向上都有尺寸精度或位置精度要求时，必须采用这种完全定位方式。图 1.63、图 1.64 都是完全定位的实例。

不完全定位：根据加工要求，并不需要限制全部自由度的定位，称为不完全定位。在满足加工要求的前提下，不完全定位是允许的。图 1.65a)、1.65b) 都是不完全定位的例子。

欠定位：根据加工要求，工件应该限制的自由度却没有被限制的定位，称为欠定位。由于欠定位不能保证加工要求，因此，欠定位在加工中是绝不允许的。在图 1.63、图 1.64 中，任何一个自由度没被限制都是欠定位。

过定位：工件的同一自由度被重复限制的定位，称为过定位。过定位将造成工件定位不稳，或对工件的安装产生干涉，或使工件或夹具变形，所以一般不允许采用过定位。如图 1.66 所示为插齿时工件的定位情况，工件 3 以内孔在心轴 1 上定位，限制了 \vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{z} 、 \vec{w} 四个自由度，以端面在凸台 2 上定位，限制了 \vec{z} 、 \vec{x} 、 \vec{w} 三个自由度，其中 \vec{x} 、 \vec{w} 被心轴和凸台重复限制。由于工件内孔与心轴的配合间隙很小，当工件内孔与端面的垂直度误差较大时，工件端面与凸台实际的接触只有一点，造成工件定位不稳定，如图 1.67a) 所示。更为严重的是，夹紧时，在夹紧力的作用下，势必引起心轴或工件的变形，如图 1.67b) 所示。这就影响了工件的加工精度和工件的装卸，所以过定位一般是不允许的。

图 1.66 插齿时齿坯的定位

1—心轴 2—支承凸台 3—工件 4—压板

对过定位必须正确处理。有时，为了提高定位的稳定性和结构刚度，简化夹

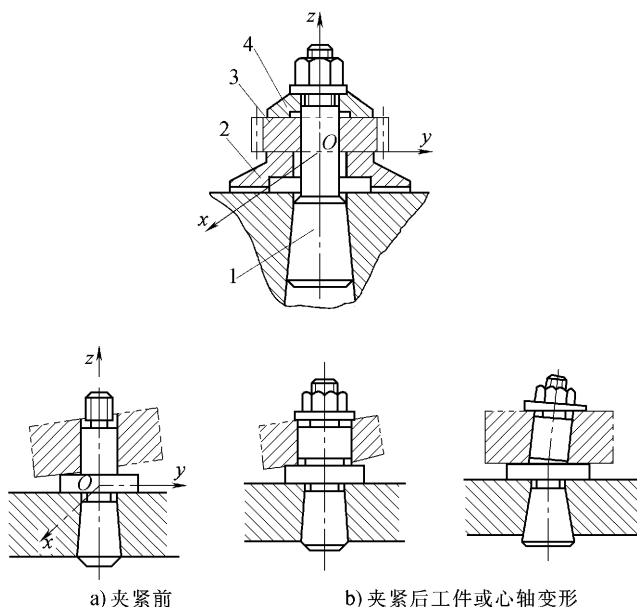


图 1.67 齿坯过定位的影响

具结构,在提高工件定位面之间以及夹具定位面之间的相互位置精度前提下,仍可以采用过定位。如上例中,若工件的定位内孔和端面的垂直度较高,同时,夹具的定位心轴和凸台的垂直度也较高时,即使二者仍有很小的垂直度误差,但可由心轴和内孔之间的配合间隙来补偿。这时,尽管重复限制了 x 、 y 自由度,但不会引起相互干涉和冲突,夹紧后工件或心轴也不会变形,这时过定位不仅可行,而且定位的精度高,刚性也好,在生产实际中可广泛应用。

综上所述,在考虑工件的定位问题时要注意:工件理论上所要限制的自由度是根据加工要求所确定的,欠定位是绝不允许的;工件实际定位所限制的自由度是要具体情况具体分析,有时为了承受切削力或简化夹具结构,常将不需要限制的自由度加以限制,但一般应避免出现过定位,而过定位只能在满足提高工件定位面以及夹具定位元件的加工精度的前提下使用。例如,虽然球体上通铣平面只需限制一个自由度,但在考虑定位方案时,往往会用图 1.68a)限制两个自由度或图 1.68b)限制三个自由度的方案。

3. 定位元件

(1) 平面定位

工件以平面作为定位基面,是最常见的定位方式之一。如箱体、床身、机座、支架等类零件的加工中,较多地采用了平面定位。

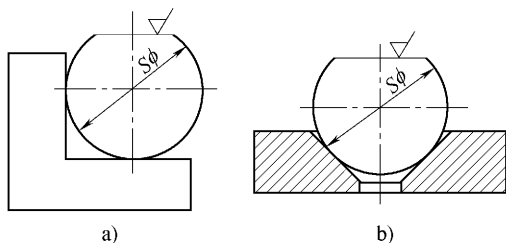


图 1.68 球体上通铣平面

1) 主要支承 主要支承用来限制工件的自由度,起定位作用。

① 固定支承 固定支承有支承钉和支承板两种形式,如图 1.69 所示。

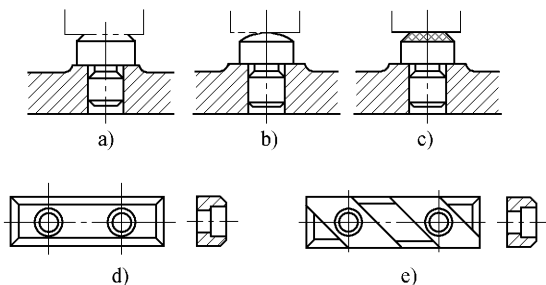


图 1.69 支承钉和支承板

当工件以未经加工的表面定位时,采用球头支承钉,如图 1.69b)所示。齿纹头支承钉,如图 1.69c)所示,用在工件的侧面,它能增大摩擦系数,防止工件滑动。当工件以加工过的平面定位时,可采用如图 1.69a)所示的平头支承钉或支承板。图 1.69d)所示支承板的结构简单,制造方便,但孔边切屑不易清理干净,故适合于侧面和顶面定位。图 1.69e)所示支承板便于清除切屑,适用于底面定位。

为保证各固定支承的定位表面严格共面,装配后,需将其工作表面一次磨平。支承钉与夹具体配合采用 $H7/n6$ 或 $H7/r6$,当支承钉需要经常更换时,应加衬套,如图 1.70 所示。衬套外径与夹具体孔的配合一般用 $H7/n6$ 或 $H7/r6$,衬套内径与支承钉的配合选用 $H7/js6$ 。

② 可调支承 可调支承是指支承钉的高度可以调节。图 1.71 为几种常用的可调支承。调整时要先松后调,调好后用防松螺母锁紧。

可调支承主要用于工件以毛坯表面定位或定位基面的形状复杂(如成形面、台阶面等),以及各批毛坯的尺寸、形状变化较大时的情况。可调支承在一批工件加工前调整一次。在同批工件加工中,它的作用与固定支承相同。

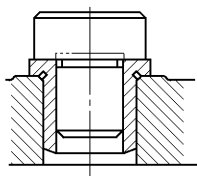


图 1.70 衬套的应用

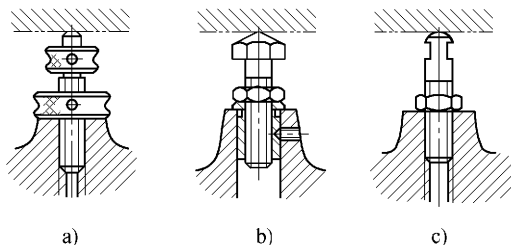


图 1.71 可调支承

③ 自位支承(浮动支承) 在工件定位过程中,能自动调整位置的支承称为自位支承。图 1.72 所示为夹具中常见的几种自位支承。其中图 a)、图 b)是两点式自位支承,图 c)为三点式自位支承。这类支承的工作特点是:支承点的位置能随着工件定位基面的不同而自动调节,定位面压下其中一点,其余点便上升,直至各点都与工件接触。接触点数的增加,提高了工件的装夹刚度和稳定性,但其作用仍相当于一个固定支承,只限制工件一个自由度。

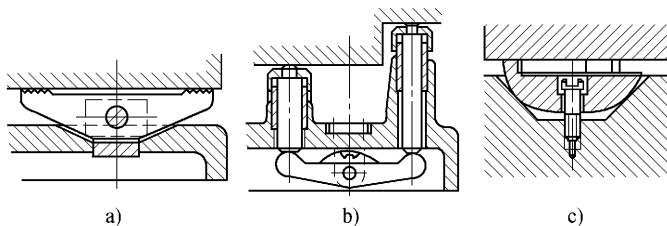


图 1.72 自位支承

2) 辅助支承 辅助支承用来提高工件的装夹刚度和稳定性,不起定位作用。辅助支承的工作特点是:待工件定位夹紧后,再调整支承钉的高度,使其与工件的有关表面接触并锁紧。每安装一个工件就要调整一次辅助支承。另外,辅助支承还可起预定位的作用。

如图 1.73 所示,工件以内孔及端面定位,钻右端小孔。由于右端为一悬臂,钻孔时工件刚性差。若在 A 处设置固定支承,属于过定位,有可能破坏左端的定位。这时可在 A 处设置一辅助支承,承受钻削力,既不破坏定位,又增加了工件的刚性。

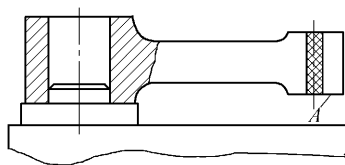


图 1.73 辅助支承的应用

图 1.74 为夹具中常见的三种辅助支承。图 a)、图 b) 为螺旋式辅助支承。图 c) 为自位式辅助支承,支承销在弹簧的作用下与工件接触,转动手柄使顶柱将支承销锁紧。

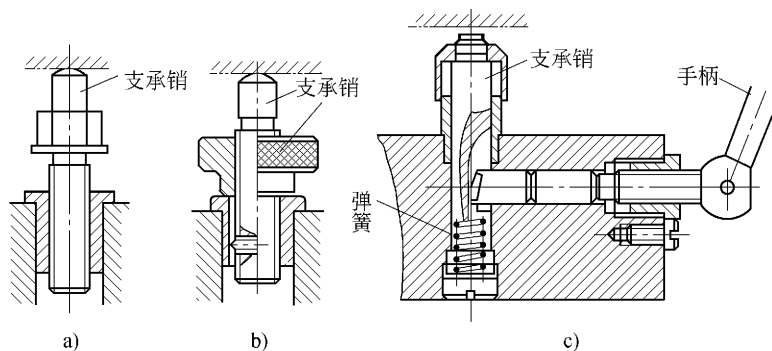


图 1.74 辅助支承

(2) 孔定位

工件以圆孔表面作为定位基面时,常用以下定位元件。

1) 圆柱销(定位销) 图 1.75 为常用定位销的结构。当工件孔径较小($D = 3 \sim 10 \text{ mm}$)时,为增加定位销的刚度,避免销子因受撞击而折断,或热处理时淬裂,通常把根部倒成圆角。这时夹具体上应有沉孔,使定位销的圆角部分沉入孔内而不妨碍定位。大批大量生产时,为了便于定位销的更换,可采用图 1.75d)所示的带衬套的结构形式。为便于工件顺利装入,定位销的头部应有 15° 倒角。

定位销的工作部分直径可按 $g5$ 、 $g6$ 、 $f6$ 、 $f7$ 制造,定位销与夹具体的配合可用 $H7/n6$ 、 $H7/n6$,衬套与夹具体选用过渡配合 $H7/n6$,其内径与定位销为间隙配合 $H7/h6$ 、 $H7/h5$ 。

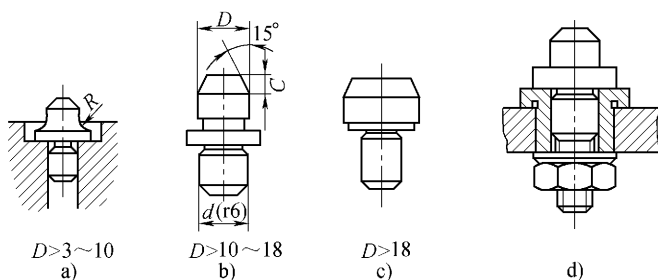


图 1.75 定位销

2) 圆柱心轴 图 1.76 为常用圆柱心轴的结构形式。图 1.76a) 为间隙配合心轴。其定位部分直径按 h6、g6 或 f7 制造, 装卸工件方便, 但定心精度不高。为了减少因配合间隙而造成的工件倾斜, 工件常以孔和端面联合定位, 因而要求工件定位孔与定位端面有较高的垂直度, 最好能在一次装夹中加工出来。心轴使用开口垫圈夹紧工件, 可实现快速装卸, 开口垫圈的两端面应互相平行。当工件内孔与端面垂直度误差较大时, 应改用球面垫圈。

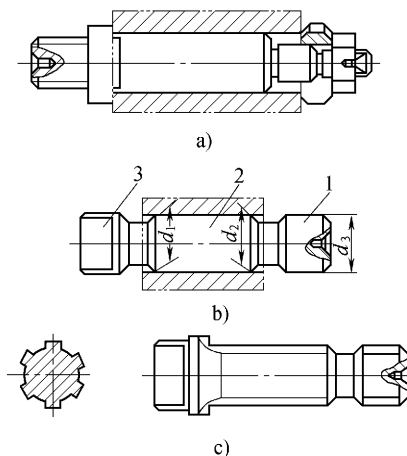


图 1.76 圆柱心轴

1—导向部分 2—工作部分 3—传动部分

图 1.76b) 为过盈配合心轴, 由导向部分 1、工作部分 2 及传动部分 3 组成。导向部分的作用是使工件迅速而准确地套入心轴。工作部分的直径按 r6 制造, 其基本尺寸等于孔的最大极限尺寸。心轴两边的凹槽是供车削工件端面时退刀用的。这种心轴制造简单, 定心准确, 不用另设夹紧装置, 但装卸工件不便, 易损伤工件定位孔, 因此多用于定心精度要求高的精加工。

图 1.76c) 是花键心轴, 用于加工以花键孔定位的工件。当工件定位孔的长径比 $L/d > 1$ 时, 工作部分可略带锥度。设计花键心轴时, 应根据工件的不同定位方式来确定定位心轴的结构, 其配合可参考上述两种心轴。

3) 圆锥销 图 1.77 为工件以圆孔在圆锥销上定位的示意图, 它限制了工件的 \vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{z} 三个自由度。图 1.77a) 用于毛坯孔的定位, 图 1.77b) 用于已加工孔的定位。

工件在单个圆锥销上定位容易倾斜, 为此, 圆锥销经常与其他定位元件组合定位。图 1.78a) 为圆锥—圆柱组合心轴, 锥度部分使工件准确定心, 圆柱部分可减少工件倾斜。图 1.78b) 为工件在双圆锥销上定位。图 1.78c) 以工件底面作为主要定位基面, 圆锥销是活动的, 即使工件的孔径变化较大, 也能准确定位。以上三种定位方式均限制工件的五个自由度。

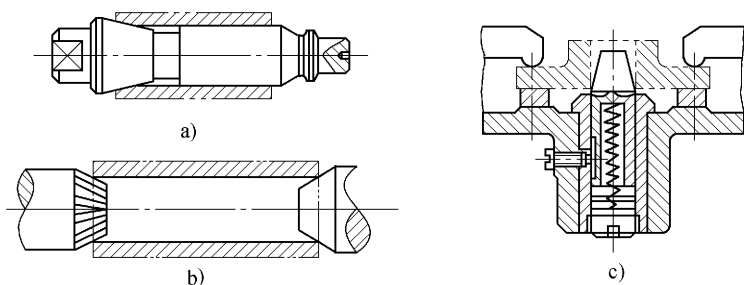


图 1.78 圆锥销组合定位

4) 圆锥心轴(小锥度心轴) 如图 1.79 所示, 工件在锥度心轴上定位, 并靠工件定位圆孔与心轴的弹性变形夹紧工件, 心轴锥度 K 见表 1.9。

表 1.9 高精度心轴锥度推荐值

工件定位孔直径 D/mm	8 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 70	70 ~ 80	80 ~ 100	> 100
<p>a) b)</p>						

图 1.77 圆锥销定位

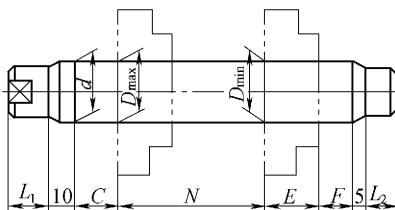


图 1.79 小锥度心轴

锥度 K	$\frac{0.01 \text{ mm}}{2.5D}$	$\frac{0.01 \text{ mm}}{2D}$	$\frac{0.01 \text{ mm}}{1.5D}$	$\frac{0.01 \text{ mm}}{1.25D}$	$\frac{0.01 \text{ mm}}{D}$	$\frac{0.01}{100}$
--------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	--------------------

这种定位方式的定位精度较高,不用另设夹紧装置,但工件的轴向位移误差较大,传递的扭矩较小,适用于工件定位孔精度不低于 IT7 的精车和磨削加工。

(3) 外圆定位

工件以外圆柱面定位时,常用如下定位元件。

1) V 形块 如图 1.80 所示, V 形块两工作平面间的夹角有 60° 、 90° 、 120° 三种, 其中以 90° 应用最广, 且结构已标准化。V 形块设计、安装的基准是检验心轴的中心。故 V 形块在夹具中的安装尺寸 H (定位高度) 是 V 形块的主要设计参数, 用来检验 V 形块制造、装配的精度。由图 1.80 可求出:

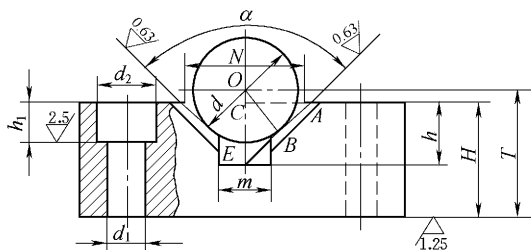


图 1.80 V 形块的结构尺寸

$$T = H + OC = H + (OE - CE)$$

$$\text{而} \quad OE = \frac{d}{2 \sin(\alpha/2)}, \quad CE = \frac{N}{2 \tan(\alpha/2)}$$

所以
$$T = H + 0.5 \left(\frac{d}{\sin(\alpha/2)} - \frac{N}{\tan(\alpha/2)} \right) \quad (1.9)$$

当 $\alpha = 90^\circ$ 时, $T = H + 0.707d - 0.5N$

图 1.81 所示为常用 V 形块的结构。其中图 1.81a) 用于较短的已加工外圆

表面定位,图 1.81b)用于毛坯外圆表面定位和阶梯面定位,图 1.81c)用于较长的已加工外圆表面定位和相距较远的两个面定位。V 形块不一定采用整体结构的钢件,可在铸铁底座上镶淬硬垫板,如图 1.81d)所示。

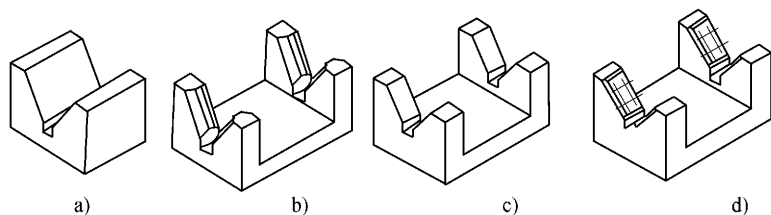


图 1.81 V 形块的结构类型

V 形块有固定式和活动式之分。固定式 V 形块在夹具体上的装配,一般用两个定位销和 2~4 个螺钉连接,活动式 V 形块的应用见图 1.82。图 1.82a)为加工轴承座孔时的定位方式,活动 V 形块除限制工件一个自由度外,还兼有夹紧作用。图 1.82b)为加工连杆孔的定位方式,活动 V 形块限制工件的一个自由度,还兼有夹紧作用。

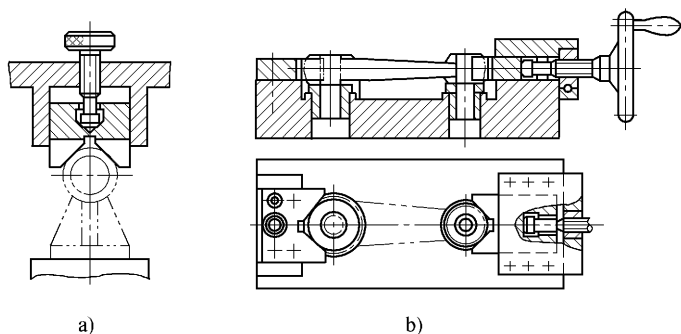


图 1.82 活动 V 形块的应用

使用 V 形块定位的特点是:①对中性好;②可用于非完整外圆表面的定位。因此,V 形块是应用最多的定位元件之一。

2) 定位套 图 1.83 为常用的两种定位套。为了限制工件沿轴向的自由度,常与端面联合定位。用端面作为主要定位面时,应控制套的长度,以免夹紧时工件产生不允许的变形。定位套结构简单,容易制造,但定心精度不高,一般用于已加工表面定位。

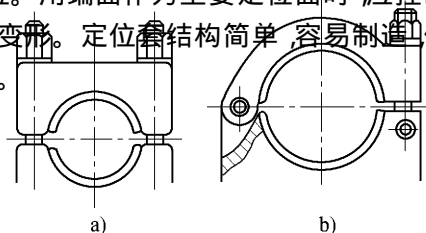


图 1.84 半圆套定位装置

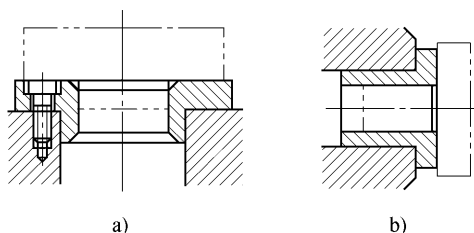


图 1.83 定位套

3) 半圆套 图 1.84 所示为半圆套定位装置, 下面的半圆套是定位元件, 上面的半圆套起夹紧作用。这种定位方式主要用于大型轴类零件及不便于轴向装夹的零件。定位基面的精度不低于 IT8、IT9 级, 半圆的最小内径取工件定位基面的最大直径。

4) 圆锥套 图 1.85 为通用的反顶尖。工件以圆柱的端部在反顶尖的锥孔中定位, 锥孔中有齿纹, 以便带动工件旋转。顶尖体的锥柄部分插入机床主轴孔中。

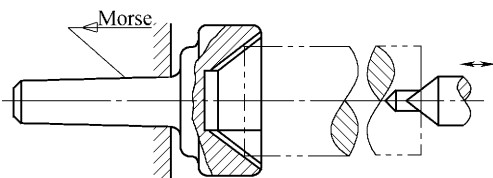
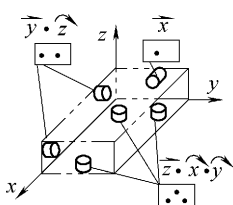
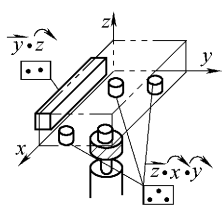
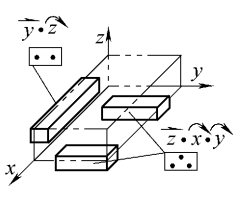
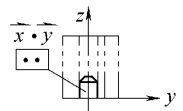
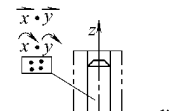
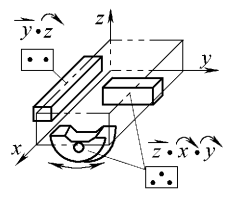
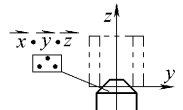
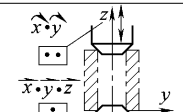


图 1.85 工件在圆锥套中定位

常见典型定位元件及其组合所能限制的自由度见表 1.10。

表 1.10 典型定位方式和所限制的自由度

工件定位 基准面	定位元件	定位方式及所限制的 自由度	工件定位 基准面	定位元件	定位方式及所限制的 自由度
-------------	------	------------------	-------------	------	------------------

工件定位基准面	定位元件	定位方式及所限制的自由度	工件定位基准面	定位元件	定位方式及所限制的自由度
平面	支承钉		平面	固定支承与辅助支承	
	支承板		圆孔	定位销 (心轴)	 
	固定支承与自位支承			锥销	 

续表

工件定位基准面	定位元件	定位方式及所限制的自由度	工件定位基准面	定位元件	定位方式及所限制的自由度
外圆柱面	支承板或支承钉		外圆柱面	半圆孔	
	V形块			锥套	
			锥孔	顶尖	
	定位套			锥心轴	

注: □内点数表示相当于支承点的数目 □外注表示定位元件所限制工件的自由度

(4) 组合表面定位

实际生产中,通常工件都是以两个或两个以上的表面作为定位基准,即采用组合定位方式。

组合定位的方式很多,生产中最常用的是“一面两孔”定位,如加工箱体、杠杆、盖板等。采用“一面两孔”定位,易于做到工艺过程中的基准统一,保证工件的位置精度,减少夹具设计、制造的工作量。本书只介绍工件以“一面两孔”的组合定位方式。

工件采用“一面两孔”定位时,两孔可以是工件结构上原有的,也可以是为定位需要而专门加工的工艺孔。相应的定位元件是支承板和两定位销。图 1.86a) 为某箱体镗孔时以“一面两孔”定位的示意图。

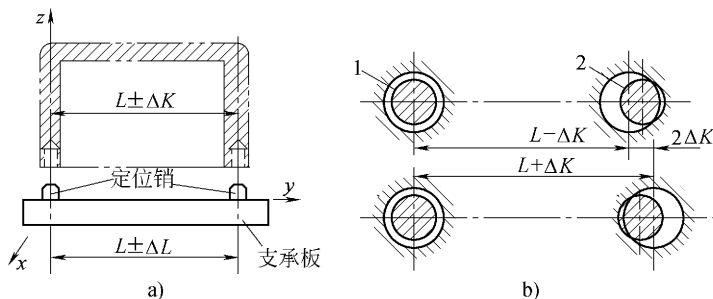


图 1.86 “一面两孔”定位时的干涉情况

1、2—定位销

图 1.86a) 中,支承板限制工件 \vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{z} 三个自由度,图 1.86b) 中短圆柱销 1 限制工件 \vec{x} 、 \vec{y} 两个自由度,短圆柱销 2 限制工件的 \vec{z} 、 \vec{y} 两个自由度。可见 \vec{y} 被两个圆柱销重复限制,即产生了过定位,受工件孔距精度 $L \pm \Delta K$ 的影响,有部分工件不能装入。

为消除过定位的影响,通常采用定位销“削边”的方法。这样,在两孔连线的方向上,起到缩小定位销直径的作用,使中心距误差得到补偿。而在垂直于连线的方向上,销 2 的直径并未减小,所以工件定位的转角误差没有增大,定位精度高。

常用削边销的结构已标准化,如图 1.87 所示。为保证削边销的强度,一般多采用菱形结构(A 型),故又称为菱形销,应用较多。B 型结构简单,容易制造,但刚性较差。在安装削边销时,削边方向应垂直于两销的连心线。

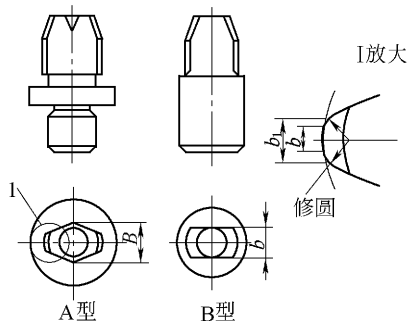


图 1.87 削边销的结构

1.3.3 工件的夹紧

工件在定位元件上定好位后,还需要采用夹紧装置将工件牢固地夹紧,保证

工件在加工过程中不因外力(切削力、工件重力、离心力或惯性力等)作用而发生位移或振动。工件的加工质量及装夹操作都与夹紧装置有关,所以夹紧装置在夹具中占有重要的地位。

1. 夹紧装置的组成和基本要求

(1) 夹紧装置的组成

图 1.88 是夹紧装置组成的示意图,夹紧装置主要由以下三个部分组成。

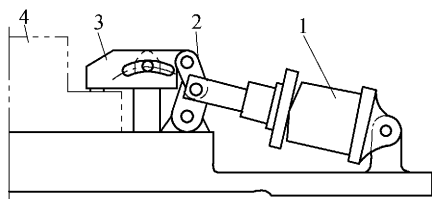


图 1.88 夹紧装置组成示意图

1—力源装置 2—中间传动机构 3—夹紧元件 4—工件

1) 力源装置 力源装置是产生夹紧原始作用力的装置,对机动夹紧机构来说,它是指气动、液压、电力等动力装置。力源来自人力的,称为手动夹紧。

2) 中间传动机构 中间传动机构是把力源装置产生的力传给夹紧元件的中间机构。中间传动机构的作用如下:

① 改变作用力的方向。如图 1.88 中,气缸作用力的方向通过铰链杠杆机构后改变为垂直方向的夹紧力。

② 改变作用力的大小。为了把工件牢固地夹住,有时往往需要有较强的夹紧力,这时可利用中间传动机构(如斜楔、杠杆等)将原始力增大,以满足夹紧工件的需要。

③ 起自锁作用。在力源消失以后,工件仍能得到可靠的夹紧。这一点对于手动夹紧特别重要。

3) 夹紧元件 夹紧元件是夹紧装置的最终执行元件,它与工件直接接触,把工件夹紧。

(2) 对夹紧装置的基本要求

夹紧装置的设计和选用是否合理,对保证工件的加工质量,提高劳动生产率,降低加工成本和确保工人的生产安全都有很大的影响。对夹紧装置的基本要求是:

① 夹紧时不得破坏工件在夹具中占有的正确位置。

② 夹紧力要适当,既要保证在加工过程中工件不移动、不转动、不振动,同时又不要在夹紧时损伤工件表面或产生明显的夹紧变形。

③ 夹紧机构要操作方便、迅速、省力。大批大量生产中应尽可能采用气动、液动等高效夹紧装置,以减轻工人的劳动强度和提高生产率。在小批量生产中,采用结构简单的螺钉压板时,也要尽量设法缩短辅助时间。手动夹紧机构所需要的力一般不要超过 100 N。

④ 结构要紧凑简单,有良好的结构工艺性,尽量使用标准件。手动夹紧机构还须有良好的自锁性。

2. 确定夹紧力三要素的原则

确定夹紧力就是要确定夹紧力的作用点、大小和方向这三个要素。只有夹紧力的作用点分布合理,方向正确,大小适当,才能获得良好的效益。

(1) 夹紧力作用点的选择

夹紧力作用点是指夹紧元件与工件接触的位置。夹紧力作用点的选择,应包括正确确定作用点的数目和位置。选择夹紧力作用点时要注意下列三个问题:

① 夹紧力作用点应落在定位元件的支承范围内,以保持工件定位稳定可靠,在加工过程中不会产生位移和偏转。图 1.89a)所示的作用点不正确,夹紧时力矩将会使工件产生转动;图 1.89b)所示是正确的,夹紧时工件稳定可靠。

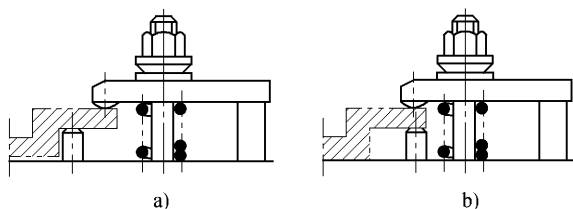


图 1.89 夹紧力作用点应在定位元件上方

② 夹紧力作用点应作用在工件刚性最好的部位上,以避免或减少工件的夹紧变形。这一点对薄壁工件更显得重要。图 1.90a)所示的夹紧力作用点不正确,夹紧时将会使工件产生较大的变形;图 1.90b)所示是正确的,夹紧变形很小。

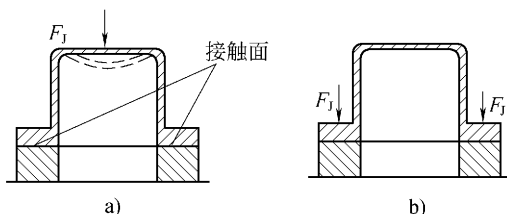


图 1.90 夹紧力作用点应在工件刚性最好的地方

为了避免夹紧力过分集中,可设计特殊形状的夹紧元件,增加夹紧面积,减小夹紧变形。如图 1.91 所示,其中图 a) 为具有较大弧面的卡爪,以减少夹压薄壁套筒时的变形;图 b) 增加一摆动压块来增大夹紧力的作用面积,减小局部夹紧变形;图 c) 在压板下增加了一个锥面垫圈,使夹紧力通过锥面垫圈均匀地作用在薄壁工件上,以免工件被局部压扁。

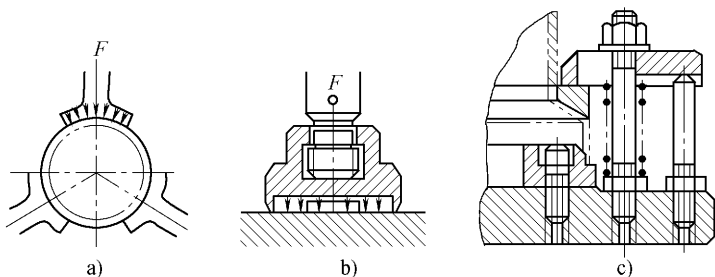


图 1.91 减小工件夹紧变形的措施

③ 夹紧力作用点应尽量靠近加工表面,以提高夹紧刚度,防止或减少工件的振动。如图 1.92 所示,在拨叉上铣槽,由于主要夹紧力的作用点距加工面较远,所以在靠近加工表面的地方设置了辅助支承,增加了夹紧力 F_{j2} 。这样,提高了工件的装夹刚性,减少了加工时的工件振动。

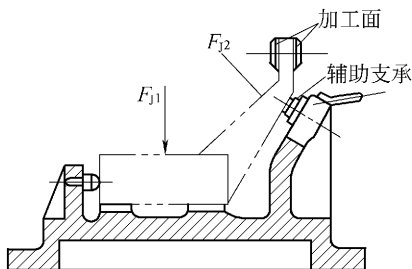


图 1.92 夹紧力作用点靠近加工表面

(2) 夹紧力作用方向的选择

① 夹紧力的方向应垂直于主要定位面。如图 1.93 所示,工件孔与左端面有一定的垂直度要求,镗孔时,工件以左端面与定位元件的 A 面接触,限制三个自由度,以底面与 B 面接触,限制两个自由度,夹紧力垂直于 A 面 (F_{j1}),这样不管工件左端面与底面有多大的垂直度误差,都能保证镗出的孔轴线与左端面垂直。若夹紧力方向垂直于 B 面 (F_{j2}),则会由于工件左端面与底面的垂直度误差而影响被加工孔轴线与左端面的垂直度。

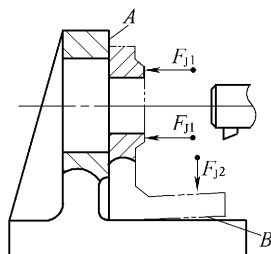


图 1.93 夹紧力方向垂直主要定位基面

② 夹紧力的方向最好与切削力、工件重力方向一致,这样既可减小夹紧力,又可简化夹紧结构和便于操作。图 1.94a)所示为钻削时轴向切削力 F_x 、夹紧力 F_1 和 F_2 、工件重力 G 都垂直于定位基面的情况,三者方向一致,钻削扭矩由这些同向力作用在支承面上产生的摩擦力矩所平衡,此时所需的夹紧力最小。图 1.94b)所示为夹紧力 F_1 、 F_2 与轴向切削力 F_x 和工件重力 G 方向相反,这时所用的夹紧力除了要平衡轴向力 F_x 与重力 G 之外,还要由夹紧力产生的摩擦阻力矩来平衡钻削扭矩,因此需要很大的夹紧力。

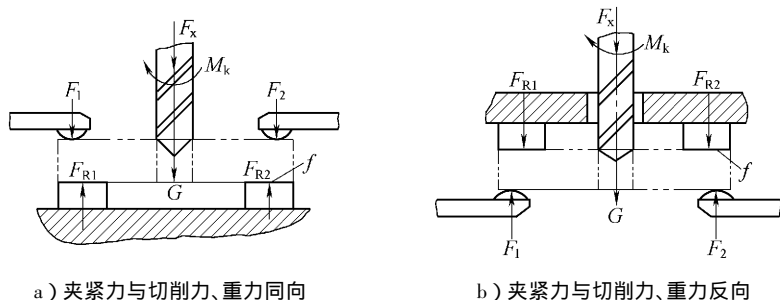


图 1.94 夹紧力方向对夹紧力大小的影响

(3) 夹紧力大小的估算

计算夹紧力是一个很复杂的问题,一般只能粗略地估算。因为在加工过程中,工件受到切削力、重力、离心力和惯性力等力的作用,从理论上讲,夹紧力的作用效果必须与上述作用力(矩)相平衡。但是在不同条件下,上述作用力在平衡系中对工件所起的作用各不相同。在一般切削加工小工件时起决定作用的因素是切削力(矩),加工笨重大型工件时,还须考虑工件的重力作用。此外,影响切削力的因素也很多,例如工件材质不均匀,加工余量大小不一致,刀具的磨损程度以及切削时的冲击等因素都使得切削力随时发生变化。为简化夹紧力的计算,通常假设工艺系统是刚性的,切削过程是稳定的。在这些假设条件下,建立

工件受力情况的力学模型 根据切削原理公式或计算图表求出切削力,然后找出在加工过程中最不利的瞬时状态,按静力学原理求出夹紧力大小。为了保证夹紧可靠,尚需再乘以安全系数才得实际需要的夹紧力。

$$F_J = KF' \quad (1.10)$$

式中 F' ——在最不利条件下由静力平衡计算求出的夹紧力;

F_J ——实际需要的夹紧力;

K ——安全系数,一般取 $K=1.5 \sim 3$,粗加工取大值,精加工取小值。

3. 常用夹紧装置

(1) 斜楔夹紧机构

利用斜面直接或间接压紧工件的机构称为斜楔夹紧机构。图 1.95 为几种利用斜楔夹紧机构夹紧工件的实例。图 a) 为利用斜楔直接夹紧工件。工件装入后,锤击斜楔大头,夹紧工件。加工完毕后,锤击斜楔小头,松开工件。由于用斜楔直接夹紧工件的夹紧力较小,且操作费时,所以实际生产中应用不多,多数情况下是将斜楔与其他机构联合起来使用。图 b) 是将斜楔与滑柱合成一种夹紧机构,可以手动,也可以气压驱动。图 c) 是由斜楔与压板组合而成的夹紧机构。

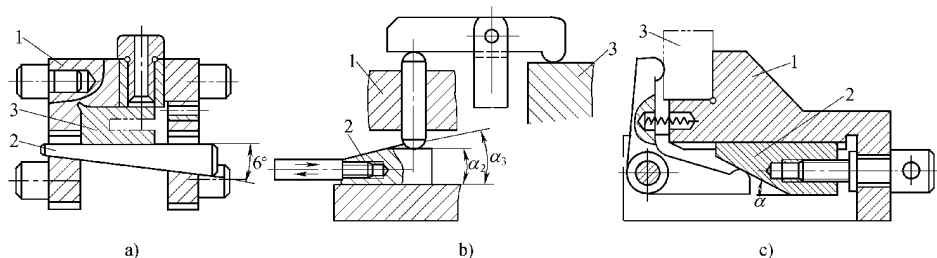


图 1.95 斜楔夹紧机构

1—夹具体 2—斜楔 3—工件

1) 斜楔的夹紧力 斜楔受作用力 F_Q 以后产生的夹紧力 F_J ,可按斜楔受力的平衡条件求出。由图 1.96a)可知,斜楔与工件相接触的一面受到工件对它的反力(即夹紧力) F_J 和摩擦力 F_1 的作用,而斜楔与夹具体相接触的一面受到夹具体给它的反力 F_N 和摩擦力 F_2 的作用。在上述五个力的作用下,斜楔处于平衡状态。

将 F_J 与 F_1 合成为 F_{R1} ,摩擦角为 ϕ_1 ,将 F_N 和 F_2 合成为 F_{R2} ,摩擦角为 ϕ_2 。再将 F_{R2} 分解成为水平分力 F'_J 和垂直分力 F 。根据静力学平衡条件得

$$F'_J = F_J \quad F_Q = F_1 + F$$

因为

$$F_1 = F_J \tan \phi_1 \quad F = F_J \tan(\phi_2 + \alpha)$$

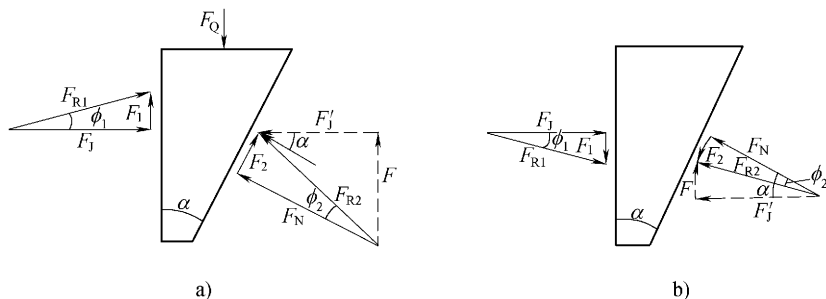


图 1.96 斜楔夹紧受力分析

所以

$$F_J = \frac{F_Q}{\tan \phi_1 + \tan(\phi_2 + \alpha)} \quad (1.11)$$

式中 α ——斜楔的斜角,一般取 $\alpha = 10^\circ \sim 14^\circ$;

ϕ_1 、 ϕ_2 ——斜楔与工件、斜楔与夹具体间的摩擦角(一般钢、铁光滑表面的摩擦系数取 $f = 0.1 \sim 0.15$, 即 $\phi \approx 5^\circ 45' \sim 8^\circ 32'$)。

2) 斜楔的自锁条件 去掉外力 F_Q 以后,斜楔受力情况如图 1.96b)所示。 F_N 和 F_2 可合并成合力 F_{R2} ,再把 F_{R2} 分解成水平分力 F'_J 和垂直分力 F 。 F 力有使斜楔松开的趋势,欲使斜楔具有自锁性能,必须有 $F_1 \geq F$

因为 $F_1 = F_J \tan \phi_1$ $F = F'_J \tan(\alpha - \phi_2)$ $F_J = F'_J$

所以 $\tan \phi_1 \geq \tan(\alpha - \phi_2)$

若 $\phi_1 = \phi_2 = \phi$, 则 $\alpha \leq 2\phi$ (1.12)

故 $\alpha \leq 2\phi$, 即 $\alpha \leq 11^\circ \sim 17^\circ$ 为斜楔夹紧的自锁条件。

由以上计算可知,减小 α 不仅使产生的夹紧力增大,而且还增加了自锁的可靠性,从这方面看 α 值取得小些有利,但却带来了另外的一些问题,由图 1.97 可知

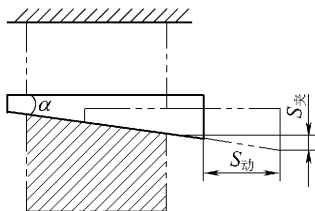


图 1.97 斜楔移动距离与夹紧行程的关系

$$S_{\text{夹}} = S_{\text{动}} \tan \alpha \quad (1.13)$$

式中 $S_{\text{夹}}$ ——夹紧行程;

$S_{\text{动}}$ ——夹紧时斜楔移动距离。

当 $S_{\text{夹}}$ 一定时,减小 α 就会使 $S_{\text{动}}$ 增大,这就增加了斜楔的长度,增大了夹紧机构所占空间,同时还将增加夹紧时间。因此,斜角 α 也不能取得太小,一般取 $\alpha = 10^\circ \sim 14^\circ$ 为宜。若机构要求自锁且有较大的夹紧行程时,可采用双升角的楔块。图 1.95b)所示的斜楔滑块机构,大升角用来使机构迅速趋近工件,小升角用来夹紧工件。

(2) 螺旋夹紧机构

由螺钉、螺母、垫圈、压板等元件组成的夹紧机构称为螺旋夹紧机构。螺旋夹紧机构结构简单,夹紧力大,自锁性能好,且有较大的夹紧行程,故目前在夹具设计中被广泛采用。

1) 单个螺旋夹紧机构 图 1.98 是直接用螺钉或螺杆夹紧工件的机构。图 a) 为用螺钉头部直接压紧工件的一种结构。为了保护夹具体不致过快磨损和简化修理工作,在夹具体中倒装一钢质螺母,若夹具体较薄时,还可增加螺旋的拧入长度,使夹紧更为可靠。为了防止螺钉头直接与工件表面接触而造成损伤,或防止在旋紧螺钉时带动工件一起转动,可在螺钉头部装上摆动压块,这种压块只随螺钉上下移动而不与螺钉一起转动。图 1.99 所示为常见摆动压块的结构类型, A 型的端面是光滑的,用于夹紧已加工表面; B 型的端面有齿纹,用于夹紧毛坯面。

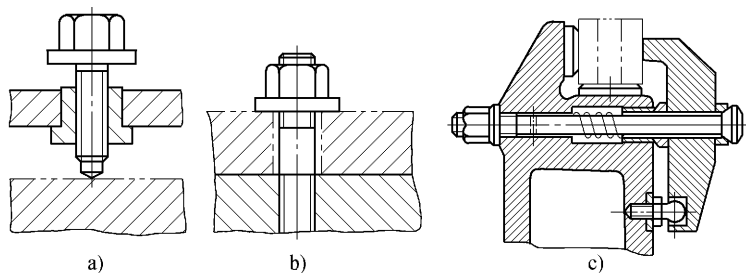


图 1.98 单个螺旋夹紧机构

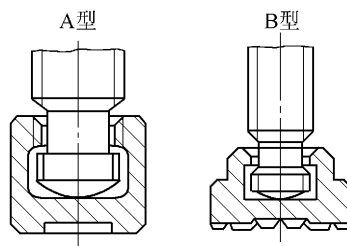


图 1.99 摆动压块

为了克服螺旋夹紧辅助时间较长的缺点,可以使用各种快速夹紧机构,如图 1.100 所示。图 a) 使用了开口垫圈的结构;图 b) 使用了铰链钩形压板的结构。

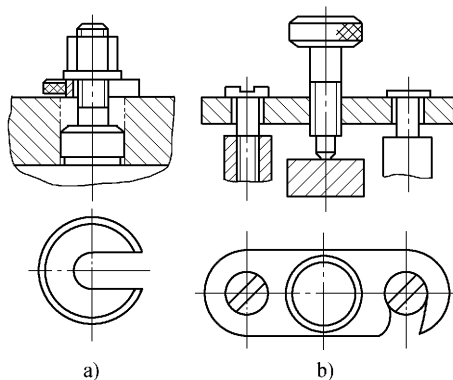


图 1.100 快速螺旋夹紧机构

2) 螺旋压板夹紧机构 螺旋压板夹紧机构是一种应用最广的夹紧机构,图 1.101 所示为三种典型的螺旋压板夹紧机构。图 a) 为移动压板,图 b) 为转动压板,图 c) 为翻转压板。从外力 F_Q 和夹紧力 F_J 的关系看,图 a) 结构效率最低,当 $l = L/2$ 时, $F_J = F_Q/2$ 。图 c) 结构效果最好, $F_J = 2F_Q$ 。如果要改变夹紧力的大小,可通过改变外力作用点、夹紧点及支承点的相对位置关系来实现。

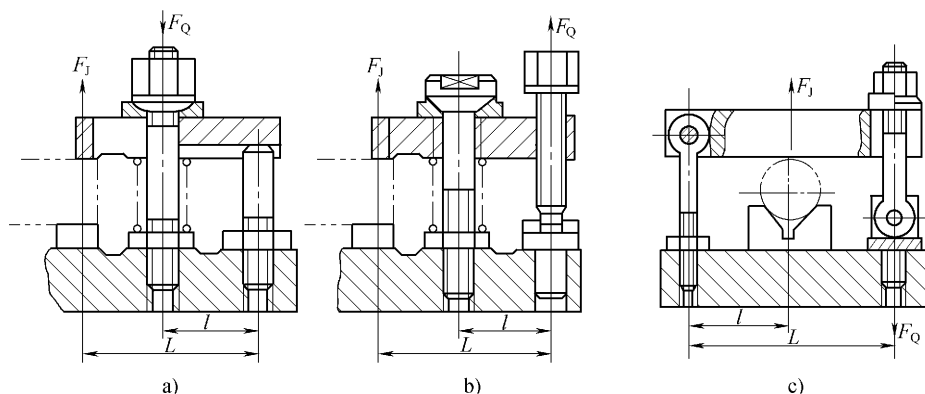


图 1.101 典型的螺旋压板夹紧机构

(3) 偏心夹紧机构

用偏心件直接或间接夹紧工件的机构称为偏心夹紧机构。常用的偏心件是圆偏心轮和偏心轴,图 1.102 为常见的偏心夹紧机构。图 a) 为用圆偏心轮直接夹紧,图 b)、图 c) 为圆偏心轮与其他元件组合使用的夹紧机构。

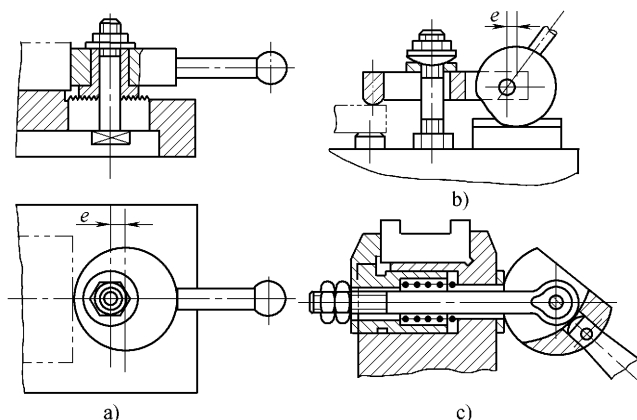


图 1.102 圆偏心夹紧机构

偏心夹紧机构操作方便,夹紧迅速,但是夹紧力和夹紧行程都较小。一般用于切削力不大、振动小的场合。

(4) 定心夹紧机构

在机械加工中常遇到以轴线或对称中心为设计基准的工件,为了使定位基准与设计基准重合,就常常采用定心夹紧机构。

定心夹紧机构具有在实现定心作用的同时将工件夹紧的特点。工件的对称中心与夹具夹紧机构的中心重合,与工件接触的元件既是定位元件,又是夹紧元件(称工作元件)。工作元件的动作通常是联动的,能等速趋近或退离工件,所以能将定位基面的公差对称分布,使工件的轴线或对称中心不产生位移,从而实现定心夹紧作用。

定心夹紧机构主要用于要求准确定心和对中的场合。此外,由于定位与夹紧同时进行,缩短了辅助时间,可提高劳动生产率,因此在生产中广泛应用。

图 1.103 是加工阶梯轴上 $\phi 30_{-0.033}^0$ 外圆柱面及端面的车夹具。工件以 $\phi 20_{-0.021}^0$ 圆柱面及端面 C 在弹簧筒夹 2 内定位,夹具体以锥柄插入车床主轴的锥孔中。当拧紧螺母 3 时,其内锥面迫使筒夹收缩将工件夹紧。反转螺母时,筒夹涨开,松开工件。

在图 1.103a)所示的弹簧夹头上,当螺母迫使筒夹收缩时,由于筒夹的厚度均匀,径向变形量相等,故在装夹工件过程中,将定位基面的误差沿径向均匀分布,使工件的定位基准(轴线)总能与筒夹轴线重合,定心精度很高。

图 1.104 所示为利用胶状塑料(液性塑料)或油液作传力介质,使薄壁弹性套产生弹性变形将工件定心夹紧的机构。图 a)为液性塑料夹头,图 b)为以油液作为传力介质的弹性心轴,它们的基本结构和原理是相同的。薄壁套筒 5 是

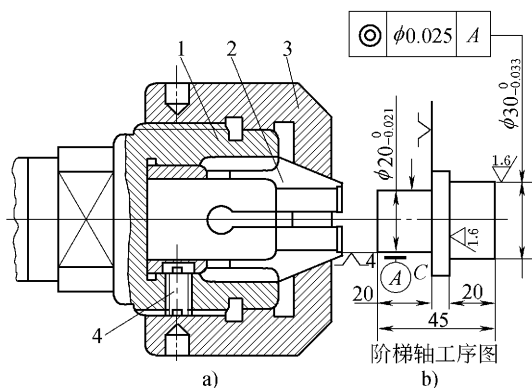


图 1.103 轴向固定式弹簧夹头

1—夹具体 2—弹性筒夹 3—螺母 4—螺钉

弹性元件,它的两端与夹具体为过渡配合,两者之间所形成的环状槽与主通道和柱塞 3 的孔道相通,在通道和环状槽内灌满液性介质。拧紧加压螺钉 2,使柱塞 3 对密封腔内的介质施加压力,迫使薄壁套产生均匀的变形,将工件定心并夹紧。为防止在加工时由于切削力使薄壁套随工件转动,在图 a)中设置了止动螺钉 6,图 b)是在薄壁套的右端面铣出键槽,通过端盖 8 的端面键、螺钉 7 使之和夹具体连接成一体。

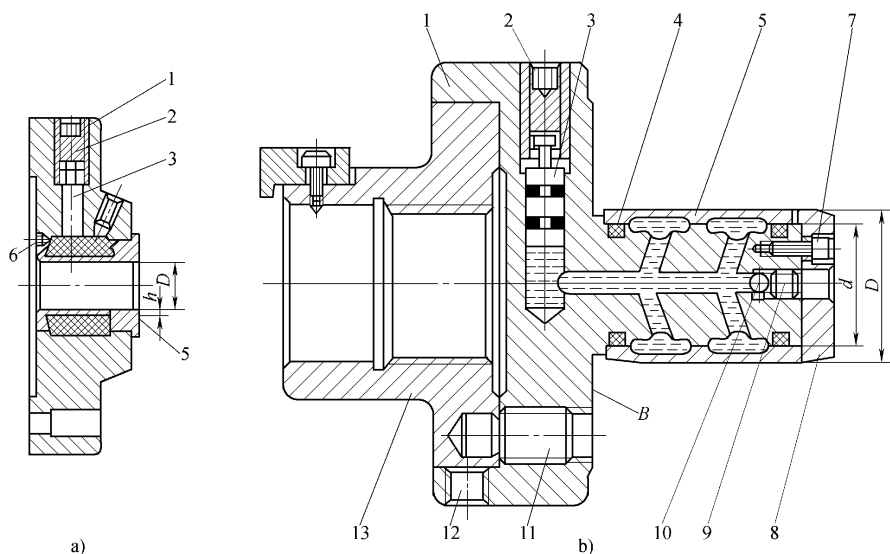


图 1.104 液性介质定心夹紧机构

1—夹具体 2—加压螺钉 3—柱塞 4—密封圈 5—薄壁弹性套筒 6—止动螺钉
7—螺钉 8—端盖 9—螺塞 10—钢球 11、12—调整螺钉 13—过渡盘

1.3.4 典型夹具

1. 专用夹具设计的方法和步骤

(1) 专用夹具设计的基本要求

对机床夹具的基本要求可概括为以下四个方面：

1) 保证加工的各项技术要求 这是设计夹具最基本的要求,其关键在于正确确定定位方案和夹紧方案,合理选用与设计定位元件、夹紧装置以及对刀导向元件等,确保合适的尺寸、公差和技术要求。

2) 提高生产率和降低生产成本 应根据工件生产批量的大小选用不同复杂程度的快速高效夹紧装置,如采用多件装夹、夹紧与定位联动、联动夹紧装置等,缩短辅助时间。夹具的复杂程度和工作效率必须与生产率相适应,从而降低工件的制造成本,获得良好的经济效益。

3) 工艺性好 所设计的夹具应便于制造、检验、装配、调整和维修。

4) 使用性好 夹具的操作应简便、省力(可采用气动、液压和气液联动等机械化夹紧装置),安全可靠,排屑方便。

(2) 专用夹具的设计方法和步骤

1) 明确设计任务,收集设计资料 分析研究被加工零件的零件图、工序图、工艺规程等文件,了解零件的生产类型,本工序的加工要求、加工余量、定位基准及所使用的工艺装备等。收集有关资料,如机床的技术参数,夹具零部件的国家标准、部颁标准、企业标准和厂订标准,典型夹具结构图册,夹具设计指导资料等。

2) 拟订夹具结构方案,绘制夹具草图 包括:① 确定工件的定位方案,设计定位装置;② 确定工件的夹紧方案,设计夹紧装置;③ 确定刀具的引导方式,选择或设计导向元件或对刀元件;④ 确定其他元件或装置的结构形式,如定位键、分度装置等;⑤ 确定夹具的总体结构及夹具在机床上的安装方式。

对夹具的定位方案、夹紧方案、总体结构最好能拟订出几个不同的方案,画出草图,经过分析比较,选择最佳方案。

3) 绘制夹具总图 在绘制夹具总图时,应按国家标准绘制。绘制比例尽量采用1:1,主视图取操作者面对机床所看到的夹具位置。总图中的视图应尽量减少,但应把夹具的工作原理、各种装置的结构及其相互关系表达清楚。

绘制总图的顺序如下:① 选择操作者工作时所看到的位置为主视图。② 用双点划线将工件的外形轮廓、定位基准、夹紧表面以及加工表面画在各视图相应的位置上,待加工面上的加工余量可用网纹线表示。在夹具总图中,工件要看作透明体,不遮挡夹具任何线条。③ 依次画出定位、夹紧、导向元件或装置的具体结构,再画出夹具体,将各元件或装置连成一个整体。④ 在总图上标注尺寸

(包括轮廓尺寸、联系尺寸、重要的配合尺寸等)、公差和技术要求。⑤ 绘制夹具零件图,夹具中的非标准零件都要绘制零件图,并按总图要求确定零件的尺寸、公差和技术条件。

2. 钻床夹具

钻床夹具简称钻模。主要用于加工孔,它通常由钻套、钻模板、定位元件、夹紧装置和夹具体组成。

(1) 钻模的主要类型

1) 固定式钻模 固定式钻模的特点是钻模用螺钉压板固定在机床上,用于在立式钻床上加工单孔或在摇臂钻床上加工位于同一方向上的平行孔系。由于它在机床上的位置固定,故所加工孔精度较高。图 1.105 所示为杠杆孔钻模,工件以大头孔和端面在定位销 7 上定位,用活动 V 形块使小头外圆对中。在大头端面用开口垫圈 6 和螺母将工件夹紧,小头下方用辅助支承 8 承受切削力。整个夹具找正后用压板固定在钻床工作台上。

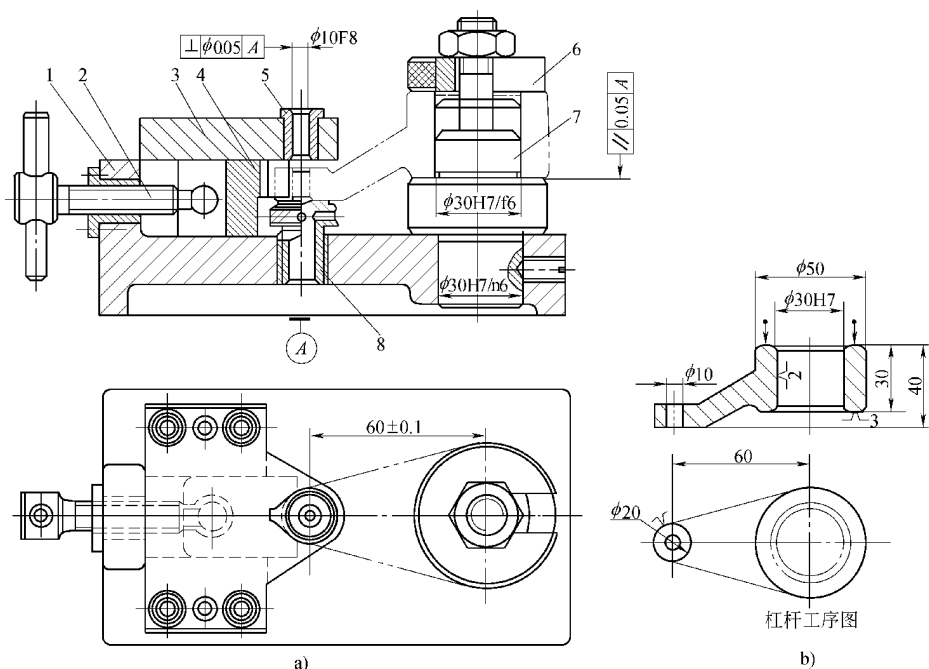


图 1.105 杠杆孔钻模

- 1—夹具体 2—固定手柄压紧螺钉 3—钻模板 4—活动 V 形块
5—钻套 6—开口垫圈 7—定位销 8—辅助支承

2) 回转式钻模 回转式钻模用于加工工件上围绕某一轴线分布的轴向或径向孔系。工件一次安装,经夹具分度机构转位而顺序加工各孔。图 1.106 为

加工扇形工件上3个径向孔的回转式钻模。拧紧螺母10,通过开口垫圈9将工件夹紧。转动手柄7,可将分度盘11松开,用手钮6将分度对定销5从定位套4中拔出,将分度盘11连同工件一起转过 20° ,再将分度对定销5插入定位套4'或4'',即实现了分度。转动手柄7,将分度盘锁紧即可加工。

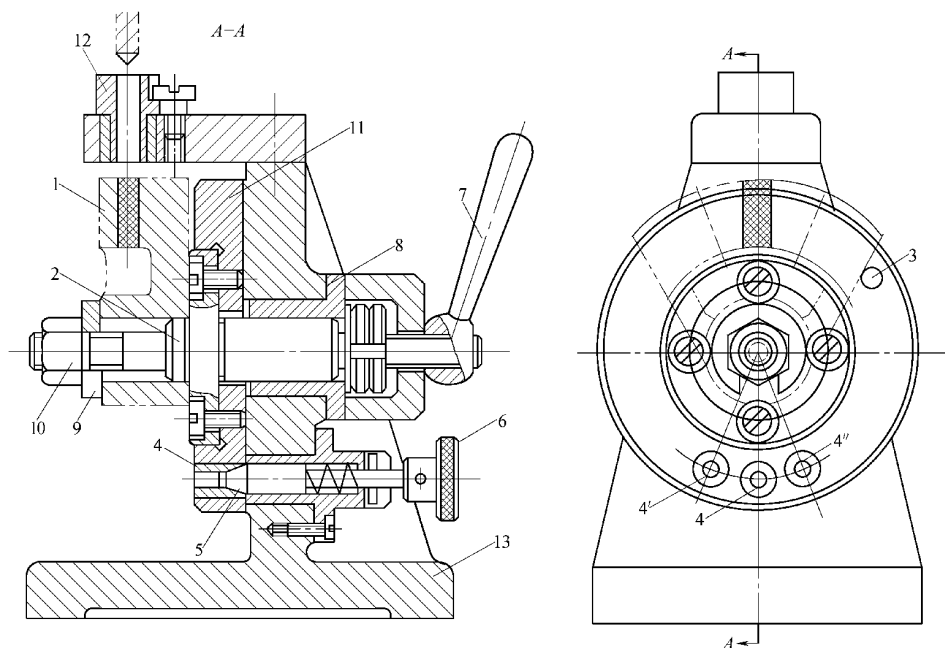


图 1.106 回转式钻模

1—工件 2—定位销轴 3—挡销 4—定位套 5—分度对定销 6—手钮 7—手柄
8—衬套 9—开口垫圈 10—螺母 11—分度盘 12—钻模套 13—夹具体

3) 移动式钻模 移动式钻模用在立式钻床上,先后钻削工件同一表面上的多个孔,属于小型夹具,被加工的孔径一般小于10 mm。移动方式有两种:一种是自由移动,让钻套去对准钻头;另一种是定向移动,用专门设计的导轨和定程机构来控制移动的方向和距离。

4) 翻转式钻模 在加工中,翻转式钻模一般用手进行翻转。所以夹具和工件一起总重量不能太重,一般以不超过100 N为宜。翻转式钻模主要用于加工小型工件分布在不同表面上的孔。它可以减少安装次数,提高各被加工孔的位置精度。其加工批量不宜过大。

5) 盖板式钻模 盖板式钻模无夹具体,其定位元件和夹紧装置直接安装在钻模板上。它的主要特点是钻模板在工件上定位,夹具结构简单,轻便,易清除切屑。盖板式钻模适合在体积大而笨重的工件上加工小孔,也可用在中小件上钻孔。对于中小批量的生产,若在钻孔后立即进行倒角、铰孔、攻螺纹等工序时,

采用盖板式钻模也极为方便。盖板式钻模每次需从工件上装卸,故钻模的重量一般不超过 100 N。图 1.107 为盖板式钻模示意图。

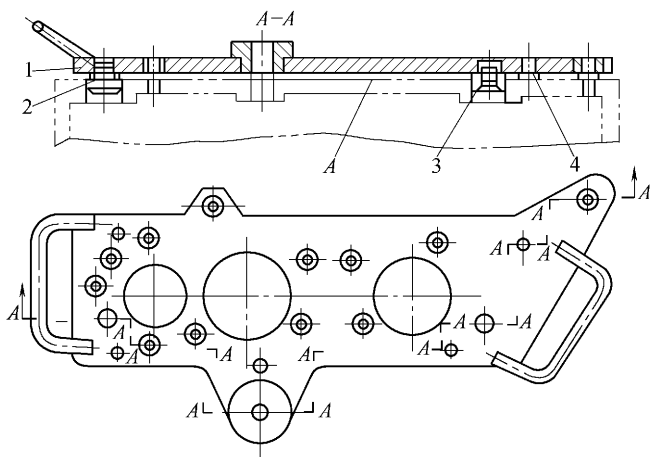


图 1.107 盖板式钻模

1—钻模板 2、3—定位销 4—支承钉

6) 滑柱式钻模 滑柱式钻模是带有升降钻模板的通用可调夹具。它是由钻模板、滑柱、夹具体和齿轮齿条传动、锁紧机构组成。这几部分的结构已经标准化,具有不同系列,钻模板也有不同的结构形式,且可以预先制好备用。只要根据工件的形状、尺寸和加工要求等,设计制造相应的定位、夹紧装置和钻套等,就可用于加工。滑柱式钻模具有结构简单,操作方便,动作迅速,制造周期短的优点,在生产中应用广泛。

(2) 钻套及钻模板

1) 钻套 钻套用来引导刀具以保证被加工孔的位置精度和提高工艺系统的刚度。钻套可分为标准钻套和特殊钻套两大类。标准钻套的结构参数、材料、热处理及配合关系等可查有关手册。标准钻套又分为固定钻套、可换钻套和快换钻套。

图 1.108a) 为固定钻套,钻套直接压装在钻模板上。固定钻套结构简单,钻孔精度高,但磨损后不能更换。固定钻套适用于单一钻孔工序的小批生产。

图 1.108b) 为可换钻套,钻套装在衬套中,衬套压装在钻模板上,由螺钉将钻套压紧,以防止钻套转动和退刀时脱出。钻套磨损后,将螺钉松开可迅速更换。适用于大批量生产时的单一钻孔工序。

图 1.108c) 为快换钻套,其结构与可换钻套相似。当一个工序中工件同一孔须经多种加工工步(如钻、扩、铰或攻螺纹等)时,能快速更换不同孔径的钻套,更换时,将钻套缺口转至螺钉处,即可取出。

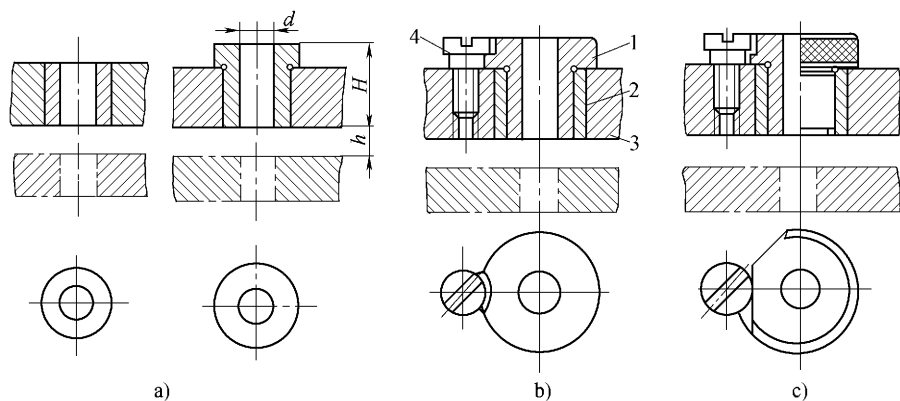


图 1.108 钻套

1—钻套 2—衬套 3—钻模板 4—螺钉

钻套的高度 H 增大,则导向性能好,刀具刚度提高,加工精度高,但钻套与刀具的磨损加剧,一般取 $H=(1 \sim 2.5)d$ 。

排屑空间 h 增大,排屑方便,但导向性能差,孔的加工精度会降低。对钻削较易排屑的铸铁 $h=(0.3 \sim 0.7)d$;对钻削较难排屑的钢件 $h=(0.7 \sim 1.5)d$;当孔的位置精度要求很高时,可取 $h=0$ 。

图 1.109 是特殊钻套,当工件的结构形状不适合采用标准钻套时,可自行设计与工件相适应的特殊钻套。

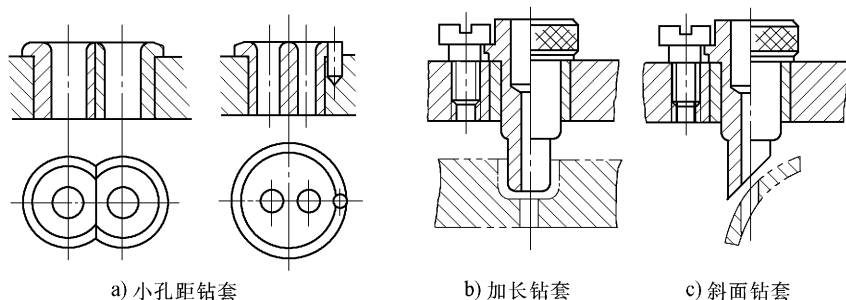


图 1.109 特殊钻套

2) 钻模板 钻模板用于安装钻套,并确保钻套在钻模上的正确位置,钻模板多装配在夹具体或支架上,常见的钻模板有以下几种:

① 固定式钻模板 如图 1.105 所示,固定式钻模板与夹具体可做成连体式、装配式或焊接式。固定式钻模板结构简单,制造方便,定位精度高,但有时装卸工件不便。

② 铰链式钻模板 如图 1.110 所示,铰链销 1 与钻模板 5 的销孔采用 G7/h6 配合。钻模板 5 与铰链座之间采用 H8/g7 配合。钻套导向孔与夹具安装面的垂直度可通过调整两个支承钉 4 的高度加以保证。加工时,钻模板 5 由菱形螺母 6 锁紧。由于铰链销、孔之间存在配合间隙,工件的加工精度较低。

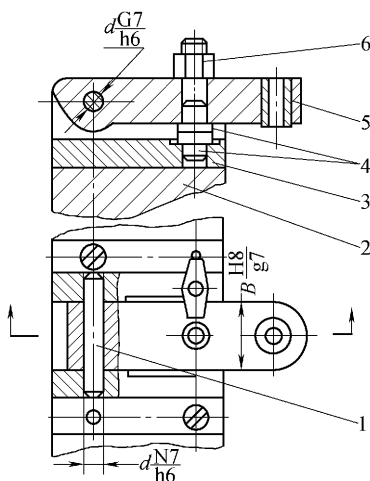


图 1.110 铰链式钻模板

1—铰链销 2—夹具体 3—铰链座 4—支承钉 5—钻模板 6—菱形螺母

③ 分离式钻模板 又称可卸式钻模板,它与夹具体做成可拆卸的,工件每装卸一次,钻模板也要装卸一次,如图 1.111 所示。这种钻模板装卸比较费事,且定位精度低,一般多用于其他类型钻模板不便装卸工件的情况。

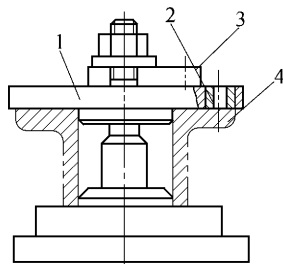


图 1.111 分离式钻模板

1—钻模板 2—钻套 3—压板 4—工件

(3) 分度装置

当工件在一次装夹后,需要按一定角度或一定距离加工一组表面时,就要采用分度装置。分度装置除了在钻床夹具上使用外,车床、铣床等专用夹具上也常使用。分度装置一般由固定部分、可动部分、分度对定机构与锁紧机构组成。分

度方式可分为回转分度和直线移动分度两种。

1) 分度对定机构

分度对定和转位机构的形式很多,一般由分度盘和对定销两部分组成。根据它们的相互位置关系可分为轴向分度和径向分度。轴向分度是指分度和对定是平行于分度盘回转轴线方向进行的(图 1.112)这种分度装置外形尺寸小,结构较紧凑,在生产中应用较广。径向分度是指分度和对定是沿着分度盘半径方向进行的(图 1.113)。当分度盘直径一定时,径向分度的转角误差较轴向分度的要小,因此,在分度精度要求高的场合,常采用径向分度。

2) 分度盘和对定销

① 分度盘 回转式分度盘上有与对定销相适应的孔或槽。轴向分度盘沿轴向开孔(圆孔或锥孔),径向分度盘沿径向开槽(直、斜槽或型面)。

在图 1.112 中,图 a)为最常用的圆柱孔及圆柱销;图 b)是镶有衬套的圆柱孔和菱形销;图 c)是圆锥孔和圆锥销;图 d)是圆柱孔和有斜面的圆柱销;图 e)是用钢珠和弹簧组成的分度销和小锥穴孔盘。

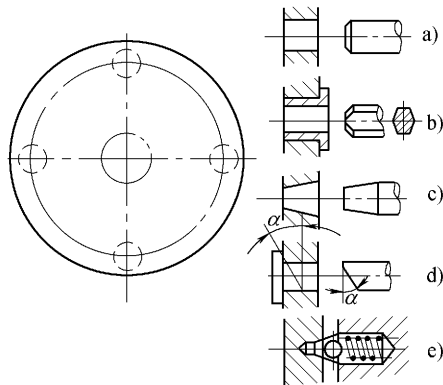


图 1.112 轴向分度盘与对定销

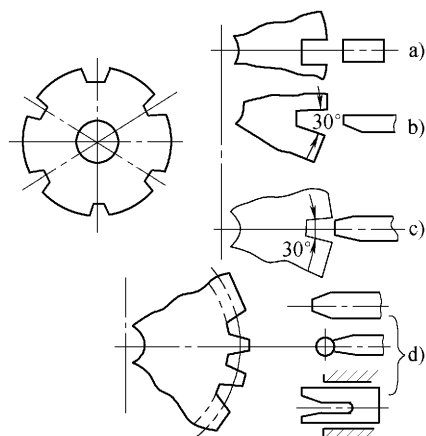


图 1.113 径向分度盘与对定销

在图 1.113 中,图 a)是矩形槽盘;图 b)是单斜面槽盘;图 c)是双单斜面槽盘;图 d)是带齿形的槽盘及其各种分度销结构。

② 对定销 分度销按其操纵方法分为手动对定销、机动对定销、自动对定销等。

图 1.114 为几种常用的分度对定机构。其中图 a)为钢球对定机构,其结构简单,操作方便,但分度精度不高,对定也不可靠。图 b)为手动直拉式对定销,其操作方便,结构较简单。图 c)为用齿轮齿条带动的对定销结构。

3. 车床夹具

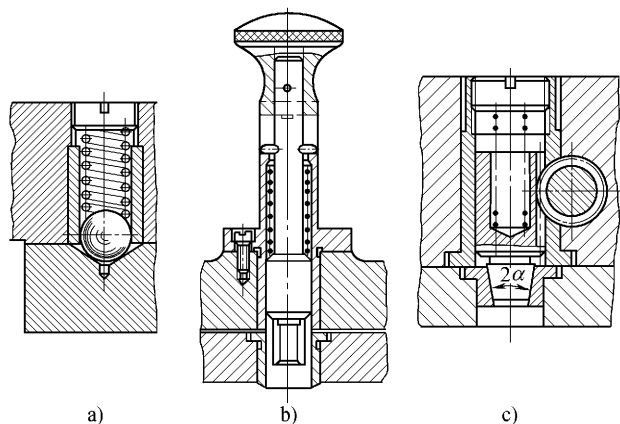


图 1.114 几种常用的分度对定机构

车床夹具有两大类：一类是安装在主轴上的夹具，另一类是安装在床身或大拖板上的夹具。后者使用较少，在此不介绍。使用车床夹具，可以方便地加工不规则零件上的孔及平面。

(1) 车床夹具实例

在车床上加工壳体、支座、杠杆、接头等类零件上的圆柱面及端面时，由于这些零件的形状比较复杂，难以直接装夹在通用卡盘上，因而需设计专用夹具。这类车床夹具一般具有类似角铁的夹具体，故称其为角铁式车床夹具。

图 1.115 为加工轴承座内孔的角铁式车床夹具，工件 6 以底面在支承板 3 上定位，两孔在圆柱销 2 和削边销 1 上定位，用两块压板夹紧工件。

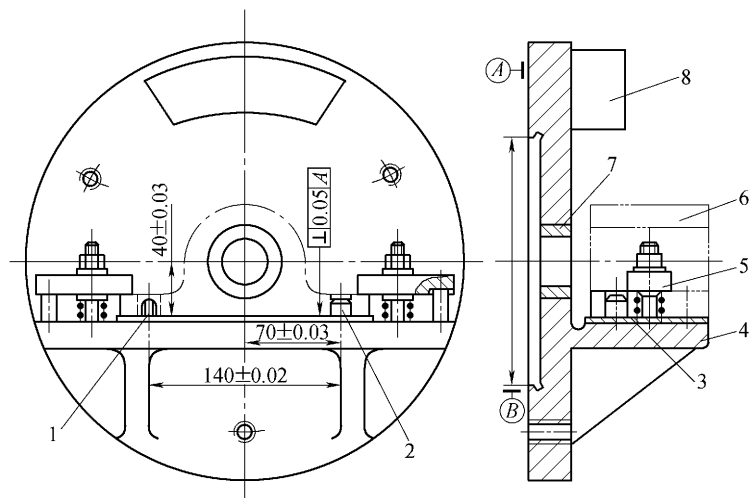


图 1.115 角铁式车床夹具

1—削边销 2—圆柱销 3—支承板 4—夹具体 5—压板 6—工件 7—校正套 8—平衡块

(2) 车床夹具的设计特点

1) 定位装置的设计特点 在车床上加工回转表面,要求工件加工面的轴线必须和车床主轴的旋转轴线重合,夹具上定位装置的结构与布置,必须保证这一点。特别对于如支座、壳体等工件,被加工工件的回转表面与工序基准之间有尺寸要求或相互位置精度时,应以夹具回转轴线为基准来确定定位元件工作表面的位置。如图 1.115 中,就要根据夹具的轴线来确定支承板以及两定位销的位置距离。

2) 夹紧装置的设计特点 由于车削时工件和夹具一起随主轴作旋转运动,故在加工过程中,工件除受切削扭矩的作用外,整个夹具还受离心力的作用,转速越高离心力越大,会降低夹紧机构产生的夹紧作用。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,夹紧机构所产生的夹紧力必须足够,自锁性能要好,以防止工件在加工过程中松动。对于角铁式夹具,夹紧力的作用方式还要注意防止引起夹具的变形。图 1.116 的施力方式,可能会引起夹具体或角铁的变形,在离心力、切削力的作用下变形加剧,可导致工件松动。

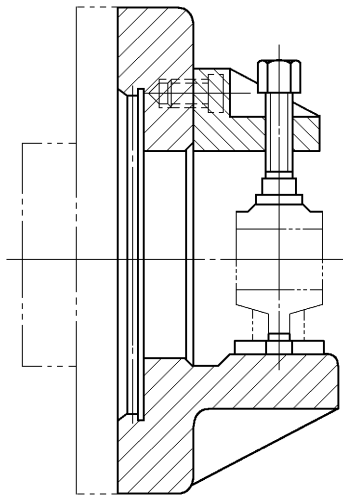


图 1.116 不恰当的施力方式

3) 车床夹具与机床的连接 车床夹具与机床主轴的连接精度对工件加工表面的相互位置精度有决定性的影响。夹具的回转轴线与车床的回转轴线必须有较高的同轴度。一般车床夹具在机床主轴上的安装有两种方式：

① 对于径向尺寸 D 小于 140 mm 或 $D < (2 \sim 3)d$ 的小型夹具,一般通过锥柄安装在车床主轴锥孔中,并用螺栓拉紧,如图 1.117a)所示。这种连接方式定心精度较高。

② 对于径向尺寸较大的夹具,一般通过过渡盘与车床主轴连接,如图 1.117b)、c)所示。夹具以平面及定位止口按 H7/h6 或 H7/js6 配合装配在过渡盘的凸缘上,然后用螺钉紧固。过渡盘属于机床附件,与机床主轴配合的形状结构取决于机床前端的结构。这种连接方式的定心精度受到配合精度的限制,为提高定心精度,可在夹具上设置找正外圆或找正孔(如图 1.115 中的校正套 7),安装夹具时,找正夹具与车床主轴的同轴度。

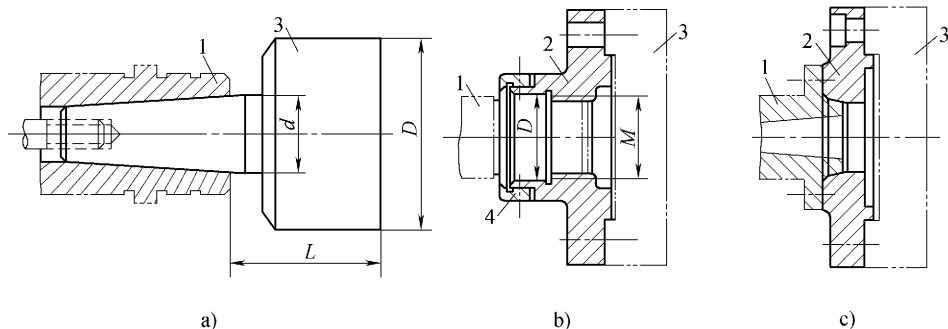


图 1.117 车床夹具与机床主轴的连接

1—主軸 2—过渡盘 3—专用夹具 4—压块

4) 对夹具总体结构的要求

① 结构紧凑、悬伸短 车床夹具一般是在悬臂状态下工作的,为保证加工的稳定性,夹具的结构应力求紧凑、轻便,悬伸长度要短,使重心尽可能靠近主轴端部。夹具的悬伸长度 L 与其轮廓直径 D 之比,对直径小于 150 mm 的夹具 $L/D \leq 2.5$;对直径在 150 ~ 300 mm 之间的夹具 $L/D \leq 0.9$;对直径大于 300 mm 的夹具 $L/D \leq 0.6$ 。

② 平衡、配重 由于车床夹具加工时随主轴旋转,且车削转速较高,若夹具的重心不在主轴的回转轴线上,就会产生离心力,引起振动,影响加工精度和刀具寿命,加剧机床主轴和轴承的磨损,又不安全。所以对车床夹具,要有平衡要求。平衡的方法有两种:设置配重块或加工减重孔。配重块上应开有弧形槽或径向孔,以便调整配重块的位置。

③ 安全 车床夹具应设计成圆形结构。为保证安全,夹具上(包括工件)的各个元件一般不允许突出在夹具体圆形轮廓之外。此外,还应注意防止切屑缠绕和冷却润滑液的飞溅等问题,必要时可设置防护罩。

4. 铣床夹具

铣床夹具主要用于加工平面、凹槽及各种成形表面。它主要由定位元件、夹紧机构、对刀装置(对刀块与塞尺)、定位键和夹具体组成。

(1) 铣床夹具的实例

如图 1.118 所示为连杆铰结合面专用夹具,工件以底面及 $\phi 20\text{H}8$ 孔在三个支承钉 2 及定位销 7 上定位,防转销 3 限制工件转动。拧紧螺母 6,通过开口压板 5 夹紧工件。

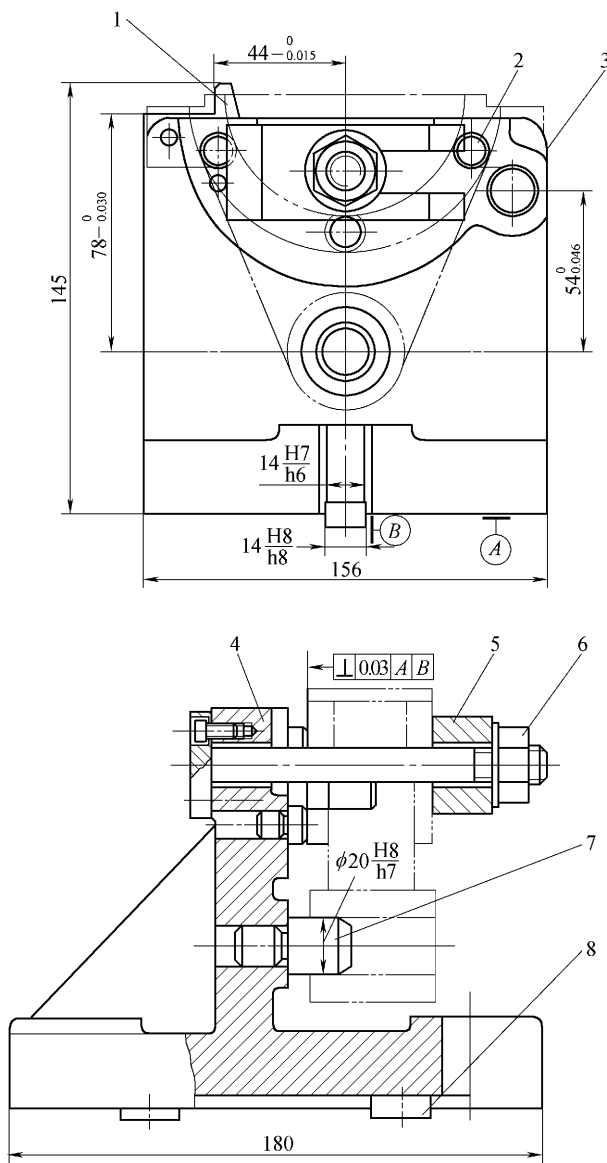


图 1.118 连杆铰结合面专用夹具

- 1—对刀块 2—支承钉 3—防转销 4—夹具体 5—开口压板
6—螺母 7—定位销 8—定位键

(2) 铣床夹具的设计特点和要求

1) 由于铣削加工一般切削用量和切削力较大, 又是多刀多刃断续切削, 且切削力的方向是变化的, 极易产生铣削振动, 因此设计铣床夹具时要特别注意工件定位的稳定性和夹紧的可靠性: ① 定位装置的设计和布置, 应尽量使定位支承面积大些; ② 夹紧装置的设计要求有足够的夹紧力, 夹紧装置自锁性好; ③ 夹紧力应作用在工件刚度比较大的部位上, 且着力点和施力方向要恰当。

铣削加工有空行程, 加工辅助时间长。为提高生产率, 铣床夹具设计中定位可安排工件多件加工, 夹紧要尽量采用快速夹紧、联动夹紧和液压气动等高效夹紧装置。

2) 为了确定夹具相对于机床的位置, 铣床夹具应设置定位键。定位键安装在夹具底面的纵向槽中, 一般采用两个, 其距离越远, 定向精度越好(见图 1.118)。通过夹具底面、定位键分别与铣床工作台、工作台中央 T 形槽的配合, 确定夹具在机床上的位置。除了铣床夹具使用定位键外, 镗床夹具、钻床夹具等也常使用。

定位键有矩形和圆形两种, 如图 1.119c) 所示的圆形定位键容易加工, 但较易磨损, 故使用不多。矩形定位键有两种结构形式, 一种在键的侧面开有沟槽或台阶, 如图 b) 所示, 把键分为上、下两部分, 其上部按 H7/h6 与夹具体底面上的槽配合, 下部与铣床工作台上的 T 形槽配合。因工作台中央 T 形槽的公差为 H8 或 H7, 故尺寸 b 按 h8 或 h6 制造, 以减小配合间隙, 提高定向精度。另一种键为如图 a) 所示的矩形, 上下两部分尺寸相同, 它适用于定向精度要求不高的夹具。对精度要求高的夹具, 应在夹具体上加工出一窄长平面作为找正基准, 来校正夹具的安装位置。

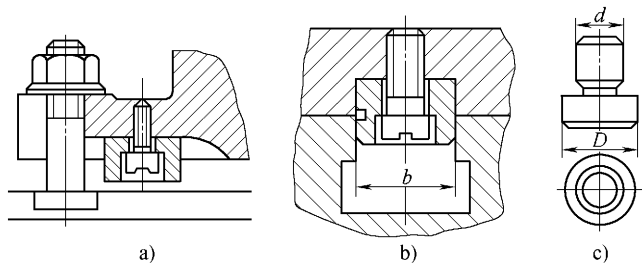


图 1.119 定位键

3) 为调整工件相对于刀具的位置, 铣床夹具一般可设置对刀装置。对刀装置的结构形式取决于工件加工表面的形状, 图 1.120 为几种常见的对刀装置。图 a) 用于铣平面; 图 b) 用于铣槽或台阶面; 图 c)、图 d) 用于铣削成型面。

对刀时, 在刀具与对刀块之间加一塞尺, 避免刀具与对刀块直接接触而损坏

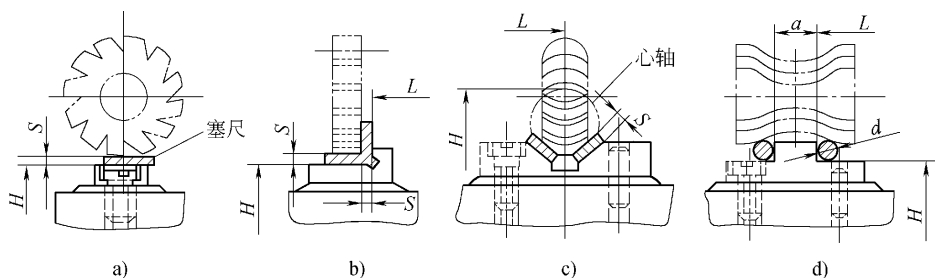


图 1.120 对刀装置

刀刃或造成对刀块磨损。塞尺有平塞尺和圆柱形塞尺两种,其厚度或直径一般为 $3 \sim 5 \text{ mm}$,公差为 $h6$ 。对刀块与塞尺均已标准化。对刀装置应设置在便于对刀的位置,并应在工件的切入一端。使用对刀块时,夹具总图上应标明塞尺的尺寸及对刀块工作表面与定位元件之间的位置。

4) 对夹具总体结构的要求: ① 夹具体要有足够的强度和刚度,壁厚恰当,加适当的筋板; ② 夹具的重心应尽量低,高度与宽度之比不应大于 $1 \sim 1.25$ 。③ 要有足够的排屑空间,切屑和冷却液能顺利排出,必要时可设计排屑孔; ④ 对于大型铣床夹具,在夹具体上要设置吊环或起重孔,以便搬运。

5. 镗床夹具

镗床夹具主要用于加工箱体、支座等零件上的精密孔或孔系。它主要由镗模底座、镗模支架、镗套、镗杆以及必需的定位、夹紧装置组成。镗床夹具的结构形式按导向支架的布置形式分为双支承镗模、单支承镗模和无支承镗模三类。设计时可查阅有关手册。

(1) 镗床夹具的实例

图 1.121 为镗削车床尾架孔的双支承镗模结构简图,镗模的两个支承分别设置在刀具的前方和后方,镗刀杆 9 和主轴通过浮动接头 10 连接。工件以底面、槽及侧面在定位板 3、4 及可调支承钉 7 上定位,限制六个自由度,采用联动夹紧机构夹紧,拧紧夹紧螺钉 6,压板 5、8 同时将工件夹紧。镗模支架 1 上用回转镗套 2 来支承和引导镗杆。镗模以底面 A 安装在机床工作台上,其位置用 B 面找正。

(2) 镗套

镗套的结构形式和精度直接影响被加工孔的精度。常用的镗套有两类,即固定式镗套和回转式镗套。设计时,镗套的结构、材料、配合关系等可查阅有关手册。

1) 固定式镗套 固定式镗套(图 1.122)与快换钻套相似,加工时镗套不随镗杆转动。A 型不带油杯和油槽,靠镗杆上开的油槽润滑;B 型则带油杯和油

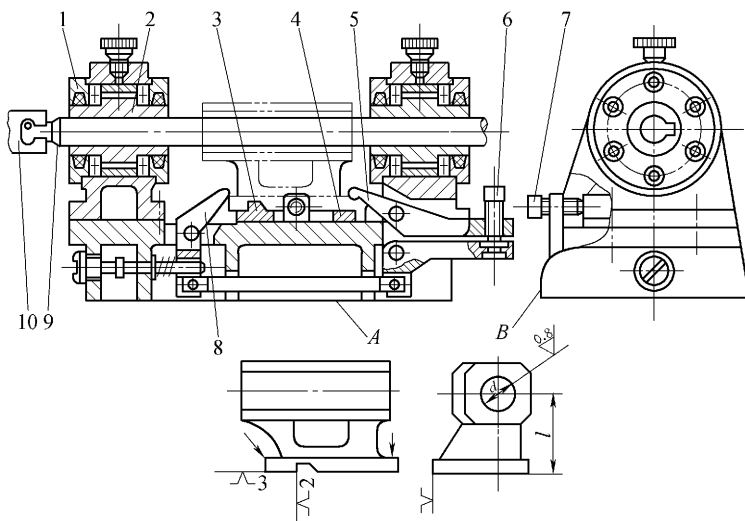


图 1.121 车床尾架孔的镗模简图

1—支架 2—镗套 3、4—定位板 5、8—压板 6—夹紧螺钉

7—可调支承钉 9—镗刀杆 10—浮动接头

槽,使镗杆和镗套之间能充分地润滑,从而减少镗套的磨损。

固定式镗套的优点是外形尺寸小,结构简单,精度高。但镗杆在镗套内一边回转,一边作轴向移动,使镗套容易磨损,因此只适用于低速镗孔。

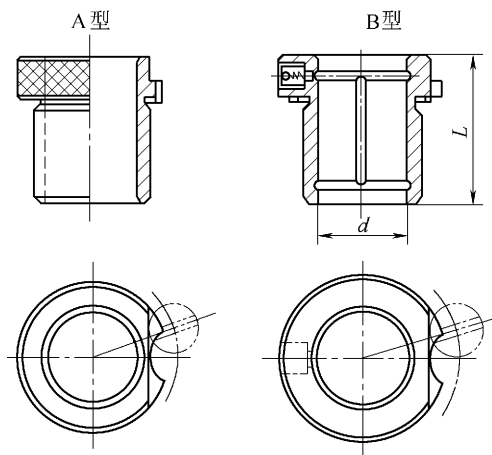


图 1.122 固定式镗套

2) 回转式镗套 回转式镗套随镗杆一起转动,镗杆与镗套之间只有相对移动而无相对转动,从而大大减少了镗套的磨损,也不会因摩擦发热而“卡死”。

因此,它适合于高速镗孔。回转式镗套有滑动式和滚动式两种。

图 1.123 为回转式镗套,用于卧式镗孔,由于镗套与支架之间安装了滚动轴承,所以回转线速度可大大提高,一般 $v > 0.4 \text{ m/s}$,但是径向尺寸较大,回转精度受轴承精度影响。图中左端 a 为内滚式镗套,导向滑套 3、轴承和镗杆一起在固定的镗套 2 内轴向移动,镗杆转动。这种镗套两轴承支承距离远,导向精度高,多用于镗杆的后导向(在刀具后方)。图中右端 b 为外滚式镗套,镗套装在轴承内孔上,镗杆 4 右端与镗套为间隙配合,通过键连接,一起回转,且镗杆还在镗套内相对移动。这种镗套导向精度稍低,一般多用于镗杆的前导向。

当工件孔直径大于镗套孔径时,需在镗套上设引刀槽,使装好刀的镗杆能顺利进入。

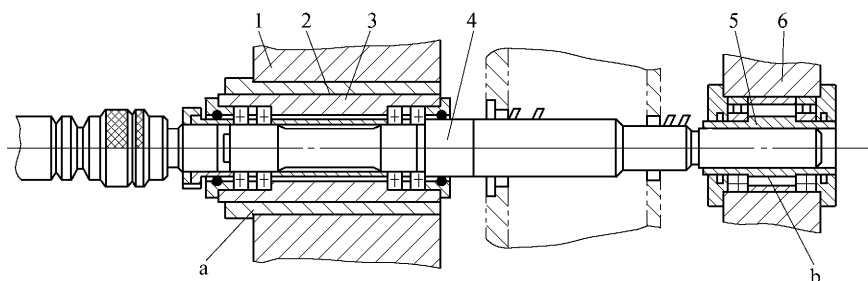


图 1.123 回转式镗套

a—内滚式镗套 b—外滚式镗套

1、6—导向支架 2、5—镗套 3—导向滑套 4—镗杆

(3) 镗床夹具上的其他结构

1) 找正面 由于箱体孔系的加工精度一般要求较高,因此镗床夹具的制造精度要求很高。为便于确定镗床夹具在机床工作台上的相对位置,一般在镗模底座的侧面设置一窄长的找正基准面,安装时用百分表找正。

2) 镗杆的引进结构 由于镗套的结构类型不一样,因此镗杆的引进结构也不一样,设计时可参阅有关设计手册。

3) 镗模支架 镗模支架主要用来安装镗套和承受切削力。要求有足够的刚性和稳定性,在结构上一般要有较大的安装基面和设置必要的加强筋。而且支架上不允许安装夹紧机构和承受夹紧反力,以免支架变形而破坏精度。支架的典型结构和尺寸可参阅有关设计手册。

4) 镗模底座 镗模底座比其他夹具体要高,且内腔设有田字格形加强筋。底座的典型结构和尺寸可参阅有关设计手册。

5) 浮动接头 当用双支承镗模镗孔时,镗杆通过浮动接头与机床主轴浮动连接。图 1.124 所示为连接镗杆与机床主轴的浮动接头。

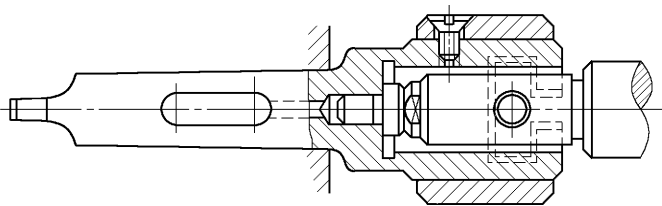


图 1.124 浮动接头

思考题与习题

- 1.1 解释下列机床型号的含义: X6132, CG6125B, Z3040, MG1432, Y3150E, T6112。
- 1.2 机床的主要技术参数有哪些?
- 1.3 各类机床中能加工外圆、孔及平面的机床有哪些? 它们的适用范围有何区别?
- 1.4 列出 CA6140 型卧式车床最高和最低转速的传动路线表达式。
- 1.5 何谓外联传动链? 何谓内联传动链? 其本质区别是什么?
- 1.6 写出在 CA6140 型卧式车床上车削米制螺纹 $P = 3 \text{ mm}$ $k = 1$ 的传动路线表达式。
- 1.7 简述数控机床的特点、分类及组成。说明开环、闭环、半闭环伺服系统的区别及适用场合。
- 1.8 简述刀具材料应具备的基本要求和刀具材料的种类。
- 1.9 常用的高速钢刀具材料有哪几种? 适用的范围是什么? 硬质合金的牌号种类很多, 它们各有何特点? 试述陶瓷、金刚石、立方氮化硼刀具材料的优缺点及适用的场合。
- 1.10 刀具正交平面参考系中, 各参考平面 P_r 、 P_s 、 P_o 及刀具角度 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ_s 是如何定义的? γ_o 和 λ_s 、 κ_r 和 α_o 、 κ_r 和 λ_s 分别确定了哪些刀具构成要素(切削部分)在空间的位置?
- 1.11 已知刀具角度 $\gamma_o = 30^\circ$ 、 $\alpha_o = 10^\circ$ 、 $\alpha'_o = 8^\circ$ 、 $\kappa_r = 45^\circ$ 、 $\kappa'_r = 15^\circ$ 、 $\lambda_s = -30^\circ$, 请绘出刀具切削部分。
- 1.12 镗削内孔时, 如果刀具安装(刀尖)低于机床主轴中心线, 在不考虑合成运动的前提下, 试分析刀具工作前、后角的变化情况。
- 1.13 外圆车削直径为 80 mm , 长度 180 mm 的 45 钢棒料, 在机床 CA6140 上选用的切削用量为 $a_p = 4 \text{ mm}$ $f = 0.5 \text{ mm/r}$ $n = 240 \text{ r/min}$ 。试 ① 选刀具材料 ② 计算切削速度 ③ 如果 $\kappa_r = 45^\circ$, 计算切削层公称宽度 b_D 、切削层公称厚

度 h_D 、切削层横截面积 A_D 。

1.14 相对于硬质合金焊接式车刀、机夹重磨式车刀而言,试述可转位车刀的优点。

1.15 试述孔加工刀具的类型及其用途。

1.16 试述铣刀的类型及其用途。

1.17 简述拉刀的结构组成及拉削加工表面的形状。

1.18 螺纹刀具具有哪些类型?它们各适用于什么场合?能加工哪些类型螺纹?

1.19 试述齿轮刀具的类型及其用途。

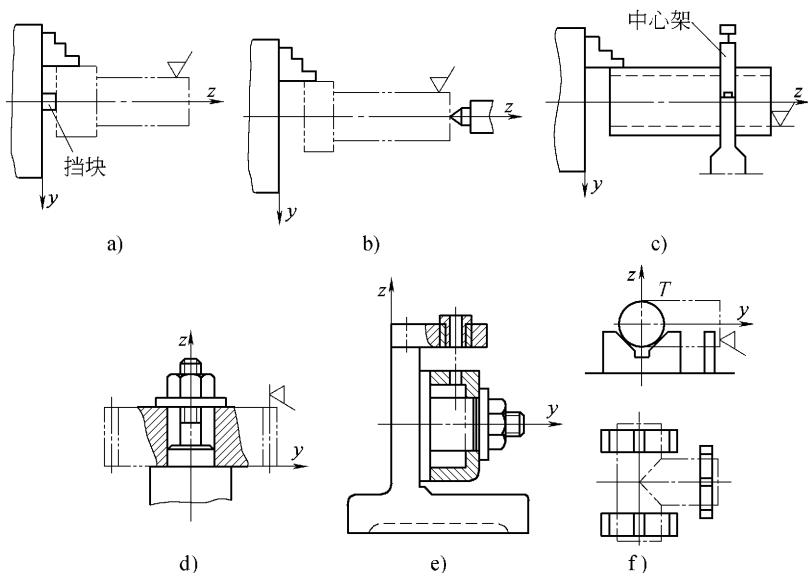
1.20 影响砂轮的特性因素有哪些?

1.21 什么是定位?工件在机床上的定位方式有哪些?各有什么特点?适用于什么场合?

1.22 何谓六点定则?何谓不完全定位、欠定位和过定位?这三种情况是否都不允许,为什么?

1.23 定位时,工件朝一个方向的自由度消除后,是否还具有朝其反方向的自由度?为什么?

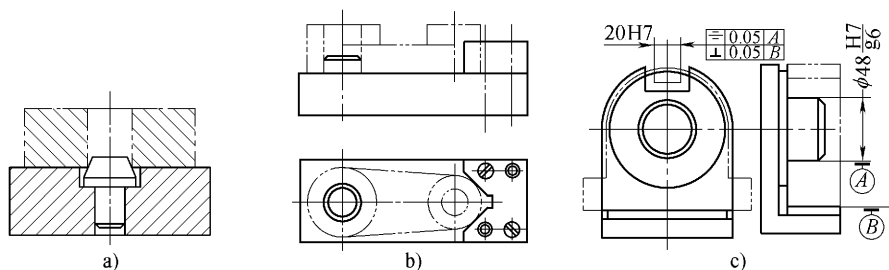
1.24 根据六点定则,分析题 1.24 图中所示各定位元件所限制的自由度。



题 1.24 图 分析各定位元件所限制的自由度

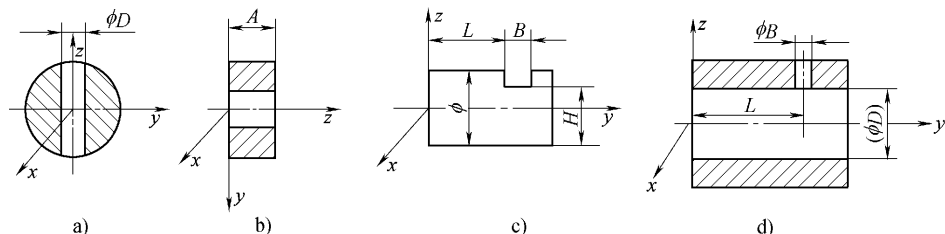
1.25 试分析题 1.25 图中定位元件限制哪些自由度?是否合理?如何改进?

1.26 根据题 1.26 图中所示的工件加工要求,试确定工件理论上应限制的



题 1.25 图 分析各定位元件所限制自由度的合理性

自由度, 并选择定位元件, 指出这些定位元件实际上限制了哪些自由度? 其中图 a) 过球心钻一小孔; 图 b) 在圆盘中心钻一孔; 图 c) 在轴上铣一槽, 保证尺寸 H 和 L ; 图 d) 在套筒上钻孔, 保证尺寸 L 。



题 1.26 图 确定应限制的自由度

1.27 如何确定夹紧力的三个要素?

1.28 分析三种基本夹紧机构的优缺点。

1.29 何谓定心夹紧? 定心夹紧机构有什么特点?

1.30 钻套有几种类型? 怎样选用? 钻模板有几种类型? 钻夹具有几种类型?

1.31 车床夹具设计有何特点? 车床夹具与主轴的连接方式有哪几种?

1.32 铣床夹具设计有何特点? 定位键起什么作用? 它有几种结构形式?

1.33 对刀装置由哪些部分组成? 塞尺的作用是什么?

1.34 镗套有几种类型? 怎样选用?

第2章

金属切削基本原理

在现代技术装备和工业产品中,难加工材料的应用日趋增多,零件的加工精度和表面质量要求亦不断提高。随着相关学科基础理论、现代测试技术的发展,应用计算机辅助数据采集与处理,金属切削基本理论的研究有了长足的进步,已从单因素试验转化为多因素综合试验,从静态转向了动态观测,从宏观转向微观,从定性分析转向定量的数学建模分析。深入研究金属切削基本理论,对有效控制切削过程、保证加工精度和表面质量、提高切削效率、降低生产成本、促进切削加工技术的发展等都有重要的指导意义。

2.1 金属切削过程

金属切削过程是通过切削运动,刀具从工件表面切除多余的金属层、形成已加工表面的过程,也是工件的切削层在前刀面挤压下产生塑性变形、形成切屑而被切下来的过程。

在金属切削过程中会出现许多物理现象,如切削变形、切削力、切削热、刀具磨损等,积屑瘤、振动现象等也与切削过程的变形有关。这些现象将直接或间接地影响加工质量和劳动生产率。

2.1.1 切屑的形成与切削变形

切削过程中的各种物理现象都是以切屑形成过程为基础的。了解切屑形成过程,对理解切削规律及其本质是非常重要的。现以塑性金属材料为例,说明切屑的形成及切削过程中的变形情况。

1. 切屑的形成过程及变形区的划分

大量的实验和理论分析证明,塑性金属切削过程中切屑的形成过程就是切削层金属的变形过程。根据切削实验时制作的金属切削层变形图片,可绘制出如图2.1所示的金属切削过程中的滑移线和流线示意图。流线表示被切削金属的某一点在切削过程中流动的轨迹。由图2.1可见,切削过程中切削层金属的变形可大致划分为三个变形区:

第一变形区:在刀具前面推挤下,切削层金属发生塑性变形。从图2.1可以

看出,切削层金属所发生的塑性变形是从 OA 线开始,直到 OM 线结束。在这个区域内,被刀具前面推挤的工件的切削层金属完成了剪切滑移的塑性变形过程,金属的晶粒被显著地拉长了。离开 OM 线之后,切削层金属已经变成了切屑,并沿着刀具前面流动。可见,这一变形区域是切屑形成的主要区域(图 2.1 的 I 区)称为第一变形区。

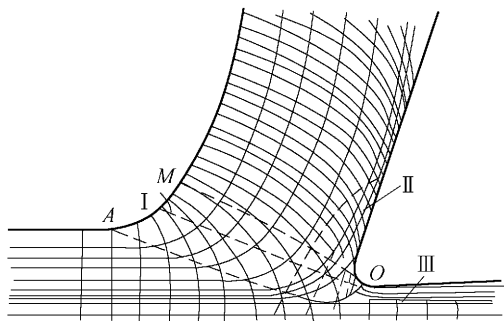


图 2.1 金属切削过程中的滑移线和流线示意图

第二变形区:切屑沿前刀面流动时,进一步受到前刀面的挤压,在刀具前面与切屑底层之间产生了剧烈摩擦,使切屑底层的金属晶粒纤维化,其方向基本上和刀具前面平行。这个变形区域称为第二变形区(图 2.1 的 II 区)。第二变形区对切削过程也会产生较显著的影响。

第三变形区:切削层金属被刀具切削刃和前面从工件基体材料上剥离下来,进入第一和第二变形区,同时,工件基体上留下的材料表层经过刀具钝圆切削刃和刀具后刀面的挤压、摩擦,使表层金属产生纤维化和非晶质化,使其显微硬度提高,在刀具后刀面离开后,已加工表面的表层和深层金属都要产生回弹,从而产生表面残余应力,这些变形过程都是在第三变形区(图 2.1 的 III 区)内完成的,也是已加工表面形成的过程。第三变形区内的摩擦与变形情况,直接影响着已加工表面的质量。

2. 第一变形区金属的滑移

如图 2.2 所示,在刀具切入工件后,由于切削刃和前刀面的推挤,工件材料内部的每一点都要产生一定的内应力,离刀具愈近的地方应力愈大。当切削层中某点 P 逼近到达点 1 位置时,其切应力达到材料的屈服强度,则 P 点在继续向前移动的同时,还要沿 OA 方向滑移变形,其合成运动将使点 P 由点 1 的位置移动到点 2 的位置,2 与 2' 之间的距离即为此时的滑移量。随着滑移的产生,切应力将逐渐加大,即点 P 继续沿 2、3、... 各点移动,并沿 OB 、 OC 、... 方向滑移,滑移量不断增大,切应力也随之增高。当点 P 到达点 4 后,其运动方向已与刀具前面平行,滑移将终止。与此同时,切应力也由点 4 的最大值 τ_{\max} 迅速下降,所

以 OM 面称为终剪切面, OA 面称为始剪切面。在 OA 之前的材料只发生弹性变形, 在 OM 之后的材料已成为切屑, 并沿刀具前面流出。由此可见, 切屑的形成过程, 就其本质来说, 是被切削层金属在刀具切削刃和前刀面作用下, 因受挤压而产生剪切滑移变形的过程。在 OA 到 OM 之间的区域即为第一变形区, 在一般切削速度范围内, 其宽度仅为 $0.02 \sim 0.2 \text{ mm}$, 故可用一个面表示, 称为剪切面。剪切面和切削速度方向之间夹角 ϕ 称为剪切角。剪切角 ϕ 的大小反映了切削变形程度的大小, 剪切角 ϕ 越大, 切削变形越小。

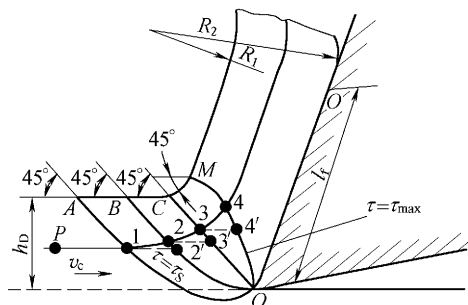


图 2.2 第一变形区金属的滑移

第一变形区的变形主要是剪切滑移, 因此可以用相对滑移 ε 来衡量变形程度。如图 2.3 所示, 相对滑移 ε 为 Δs 与 Δy 之比, 即:

$$\varepsilon = \frac{\Delta s}{\Delta y} = \frac{NP}{MK} = \frac{NK + KP}{MK} = \cot \varphi + \tan(\varphi - \gamma_o) \quad (2.1)$$

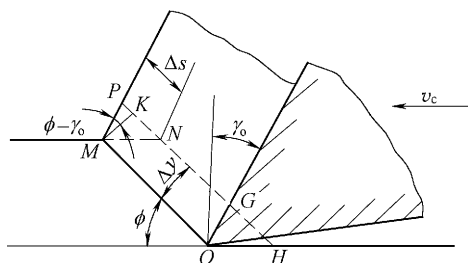


图 2.3 相对滑移

切屑变形程度还可使用变形系数 Λ_h (切屑厚度压缩比) 来度量。在切削层金属形成切屑时, 其切屑厚度 h_{ch} 通常要大于切削厚度 h_D , 而切屑长度 l_{ch} 却小于切削长度 l_c , 如图 2.4 所示。由于切削宽度与切屑宽度差异很小, 根据体积不变的原则, 变形系数 Λ_h 可由下式计算:

$$A_h = \frac{h_{ch}}{h_D} = \frac{l_c}{l_{ch}} \quad (2.2)$$

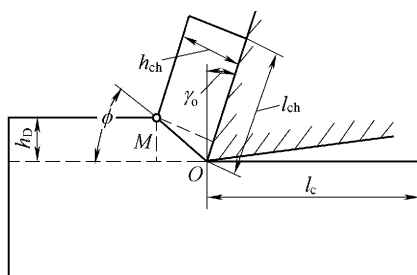


图 2.4 变形系数的计算

变形系数 A_h 是大于 1 的数, 它可直观地反映切屑的变形程度, 且容易测量。 A_h 值越大, 表示切出的切屑越厚越短, 变形越大。

3. 前刀面的挤压摩擦与积屑瘤

塑性金属切削层材料经第一变形区后沿前刀面排出, 由于受前刀面的挤压和摩擦而进一步加剧变形, 在靠近前刀面处形成第二变形区。切屑在流经前刀面时, 在高温高压的作用下产生剧烈的摩擦。这种摩擦与一般金属接触面间的摩擦不同。如图 2.5 所示, 刀屑接触区分为粘结区和滑动区两部分。粘结区的摩擦为金属间的内摩擦, 是金属内部的剪切滑移, 它的规律与外摩擦不同, 与材料的流动应力特性以及粘结面积大小有关。这部分的切向应力等于被切材料的剪切屈服点 τ_s 。滑动区的摩擦为外摩擦, 即滑动摩擦, 这部分的切向应力随着远离切削刃由 τ_s 逐渐减小至零。而刀—屑接触面上正应力分布是刃口处最大, 远离刃口处变小, 直至减小至零, 所以前刀面上各点的摩擦是不同的。

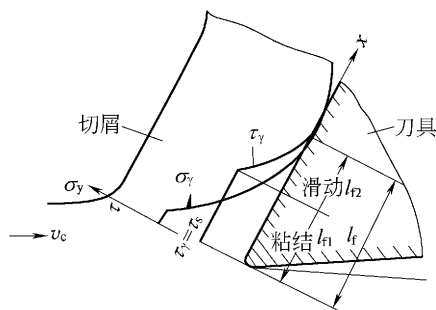


图 2.5 切屑和前刀面摩擦特性

加工一般钢材或其他塑性材料时, 在切削速度不高而又能形成连续性切屑的情况下, 常有一些金属粘结 (冷焊) 并层积在前刀面切削处形成一楔块。其硬

度很高(通常是工件材料的2~3倍),在处于稳定状态时,能够代替刀刀进行切削。这块冷焊在前刀面上的金属称为积屑瘤。积屑瘤的大小常用积屑瘤的高度 H_b 表示(图2.6)。

积屑瘤的形成原因:切削加工时,切屑底层金属与前刀面产生强烈的内摩擦,当接触面具有适当的温度和较高的压力时,就会产生粘结(冷焊)而滞留在前刀面上。连续流动的切屑从粘结在前刀面的底层上流过时,在温度、压力适当的情况下也会被阻滞在底层上,使粘结层逐渐在前一层上积聚,这样一层层地滞留、粘结,逐渐形成了一个楔形的积屑瘤。长高了积屑瘤,受外力或振动的作用,又会发生局部断裂或脱落。积屑瘤的产生、成长、脱落是个周期性的动态过程。

积屑瘤的存在可代替切削刃进行切削,对切削刃有一定的保护作用,还可增大刀具的实际前角,对粗加工的切削过程有利。但积屑瘤的顶端从刀尖伸向工件内层,使实际背吃刀量和切削厚度发生变化,将影响工件的尺寸精度;由于积屑瘤的高度变化使已加工表面粗糙度值变大,并容易引起振动。所以,在精加工时应尽量避免产生积屑瘤。

积屑瘤的形成以及它的积聚高度主要取决于切削温度。在切削温度很低时,切屑与前刀面之间摩擦系数小,不易形成粘结;在温度很高时,接触面间切屑底层金属呈微熔状态,摩擦小,不易形成积屑瘤;在中温区,例如切削中碳钢的温度在300~500℃时,粘结严重,摩擦系数大,积屑瘤最高。

合理控制切削条件,尽量不形成中温区域,就能有效地抑制或避免积屑瘤的产生。以切削中碳钢为例,积屑瘤高度与切削速度之间的关系见图2.7所示。在低速($v_c \leq 3 \text{ m/min}$)切削时,不产生积屑瘤;较高速($v_c > 40 \text{ m/min}$)切削时,也不易产生积屑瘤;在中速($v_c \approx 20 \text{ m/min}$)切削时,积屑瘤高度达到最大值。为降低加工表面粗糙度值,应尽量不采用中速切削加工。

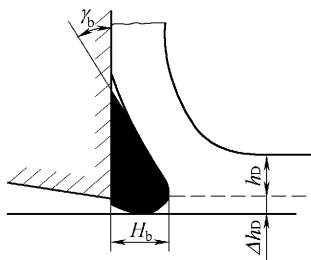


图 2.6 积屑瘤

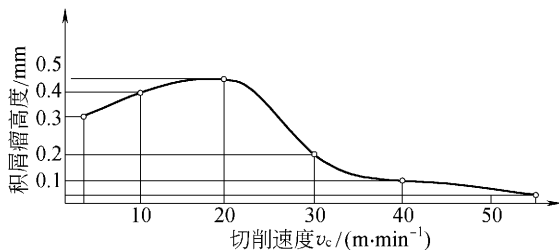


图 2.7 切削速度与积屑瘤高度的关系

4. 已加工表面变形与加工硬化

刀具切削刃的刃口实际上无法磨得绝对锋利,总存在刃口圆弧,如图 2.8 所示,刃口圆弧半径为 r_β 。切削时由于刃口圆弧的切削和挤压摩擦作用,使刃口前区的金属内部产生复杂的塑性变形。通常以 O 点为分界点, O 点以上金属晶体向上滑移形成切屑; O 点以下厚度 Δh_D 的金属层晶体向下滑移绕过刃口形成已加工表面。这层金属被刃口圆弧挤压后,还继续受到后刀面上小棱面 CE 的摩擦,以及由已加工表面弹性恢复层 Δh 与后刀面上 ED 部分接触产生的挤压摩擦,使已加工表面变形更剧烈。

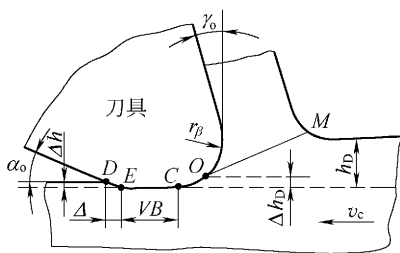


图 2.8 已加工表面变形

经切削产生的变形使得已加工表面层的金属晶格产生扭曲、挤紧和碎裂,造成已加工表面的硬度增高,这种现象称为加工硬化(冷硬)。硬化程度严重的材料使得切削变得困难。冷硬还使已加工表面出现显微裂纹和残余应力等,从而降低了加工表面的质量和材料的抗疲劳强度。

鳞刺是已加工表面上的一种鳞片状毛刺,它对表面粗糙度有严重的影响。通常在以较低的切削速度对塑性金属进行车、刨、钻、拉等加工时,都可能出现鳞刺。采用高速切削、减小切削厚度、使用润滑性能好的切削液等措施,都可抑制鳞刺。

2.1.2 切屑的类型

由于工件材料以及切削条件不同,切削变形的程度也就不同,因而所产生的切屑形态也就多种多样。切屑形态一般分为 4 种基本类型(如图 2.9),即带状切屑、挤裂切屑、单元切屑和崩碎切屑。

1. 带状切屑

带状切屑是最常见的一种切屑。它的形状像一条连绵不断的带子,底部光滑,背部呈毛茸状。一般加工塑性材料,当切削厚度较小、切削速度较高、刀具前角较大时,得到的切屑往往是带状切屑。出现带状切屑时,切削过程平稳,切削力波动较小,已加工表面粗糙度值较小。

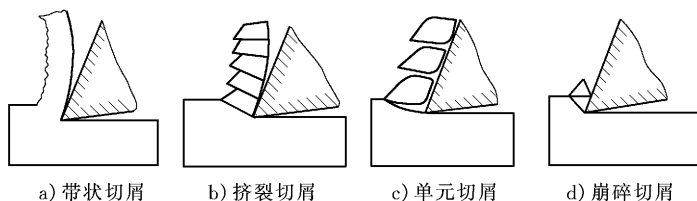


图 2.9 切屑类型

2. 挤裂切屑

挤裂切屑又称节状切屑。切屑上各滑移面大部分被剪断,尚有小部分连在一起,犹如节骨状。它的外弧面呈锯齿形,内弧面有时有裂纹。其原因是由于它的第一变形区较宽,在剪切滑移过程中滑移量较大。由滑移变形所产生的加工硬化使剪切力增加,在局部地方达到材料的破裂强度。这种切屑在切削速度较低、切削厚度较大、刀具前角较小的情况下产生。出现挤裂切屑时,切削过程不平稳,切削力有波动,已加工表面粗糙度值较大。

3. 单元切屑(粒状切屑)

切屑沿剪切面完全断开,因而切屑呈梯形的单元状(粒状)。当切削塑性材料、在切削速度极低时产生这种切屑。出现单元切屑时切削力波动大,已加工表面粗糙度值大。

以上三种切屑只有在加工塑性材料时才可能得到。生产中最常见的是带状切屑,有时得到挤裂切屑,单元切屑则很少见。切屑的形态是随切削条件的改变而转化的。在形成挤裂切屑的情况下,若减小刀具前角,降低切削速度或加大切削厚度,就可以得到单元切屑;反之,则可得带状切屑。

4. 崩碎切屑

切削脆性材料时,由于材料的塑性很小且抗拉强度低,被切金属层在前刀面的推挤下未经塑性变形就在拉应力状态下脆断,形成不规则的碎块状切屑。它与工件基体分离的表面很不规则,切削力波动很大,切削振动大,加工表面凹凸不平,表面粗糙度值很大。

在切削加工中采取适当的措施来控制切屑的卷曲、流出与折断,使形成“可接受”的良好屑形。从切屑控制的角度出发国际标准化组织(ISO)制定了切屑分类标准,如图 2.10 所示。

衡量切屑可控性的主要指标是:不妨碍正常的加工(即不缠绕在工件、刀具上,不飞溅到机床运动部件中);不影响操作者的安全;易于清理、存放和搬运。ISO 分类法中的 3—1、2—2、3—2、4—2、5—2、6—2 类切屑所占空间小,易于处理,属于良好的屑形。对于不同的加工场合,例如不同的机床、刀具或不同的被

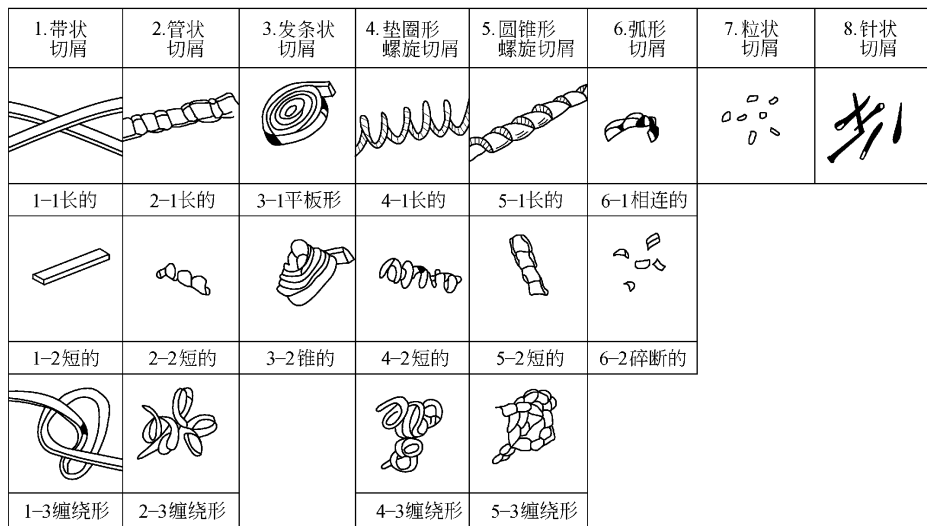


图 2.10 国际标准化组织的切屑分类法

加工材料,有相应的可接受屑形。因此,在进行切屑控制时,要针对不同情况采取相应的措施,以得到“可接受”的良好屑形。

在生产中,应用最广的切屑控制方法是在前刀面上磨出断屑槽或使用压块式断屑器。

2.1.3 影响切削变形的因素

切削变形是个复杂的过程,影响切削变形的因素很多,主要有工件材料、切削速度、进给量、刀具前角。

1. 工件材料

工件材料的力学性能不同,切削变形也不同。材料的塑性越大,强度、硬度越低,屈服极限就越低,在较小的应力作用下就会产生塑性变形,加工时的切屑变形就越大。同时,塑性大的材料,连续进行塑性变形的能力强,或者说在破坏之前的塑性变形量大,因此切屑变形也就越大。图 2.11 为不同材料对变形系数 Δ_p 的影响。

2. 刀具前角

刀具的前角越大,切削刃就越锋利,对切削层金属的挤压也就越小,剪切角就越大,所以切屑变形也就越小,如图 2.12 所示。

3. 切削用量

(1) 切削速度

切削速度主要是通过积屑瘤和切削温度使剪切角变化而影响切削变形的。

如图2. 13所示 ,在切削碳钢等塑性金属时 ,变形系数 Λ_h 随切削速度增大呈波形

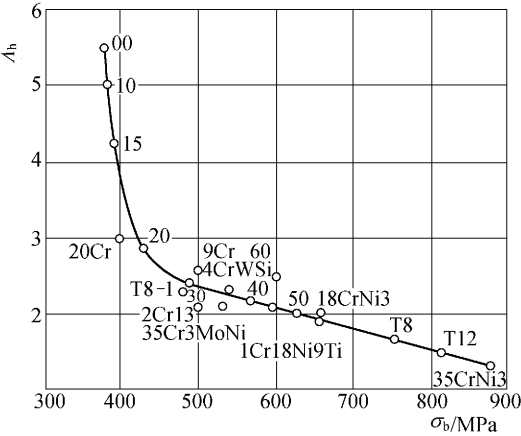


图 2. 11 材料对变形系数 Λ_h 的影响

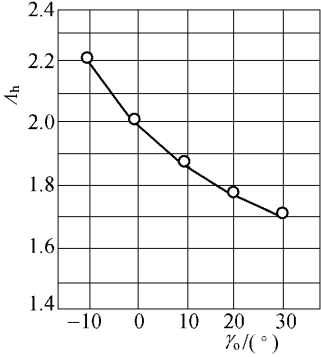


图 2. 12 前角对变形系数 Λ_h 的影响

实验条件 :工件材料 30Cr $\mu_p = 4 \text{ mm}$,
 $f = 0.49 \text{ mm/r}$ $p_c = 0.02 \sim 140 \text{ m/min}$

变化。这是因为 ,在较宽的切削速度范围内 ,中间有一部分区域会生成积屑瘤 ,而高速端和低速端却没有积屑瘤。当切削速度增加使积屑瘤增大(v_c 大约在 $8 \sim 22 \text{ m/min}$ 范围)时 ,刀具实际工作前角增大 ,切屑变形减小 ;当切削速度再增加(v_c 大约在 $22 \sim 55 \text{ m/min}$ 范围)时 ,积屑瘤减小 ,刀具实际工作前角减小 ,切屑变形增大。在无积屑瘤的切削速度区域 ,切屑变形程度只与切削速度有关。在图 2. 13 所示 $v_c > 55 \text{ m/min}$ 条件下 ,当切削速度增大时 ,切屑通过变形区的时间极短 ,来不及充分地剪切滑移即被排出切削区外 ,故切屑变形随切削速度的增加而减小。

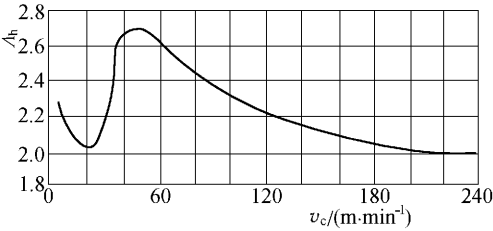


图 2. 13 切削速度对变形系数 Λ_h 的影响

实验条件 :工件材料 30 钢 $\mu_p = 4 \text{ mm}$ $f = 0.39 \text{ mm/r}$ $\gamma_o = 5^\circ$ $k_r = 90^\circ$

(2) 进给量

如前所述 ,切屑底层的金属 ,经过第一、第二变形区的两次塑性变形 ,其变形

程度比切屑上层要剧烈得多。进给量越大,切屑层公称厚度也越大,第二变形区的影响相对小一些。所以,进给量越大,切屑平均变形程度 Δ_h 越小,其影响如图 2.14 所示。

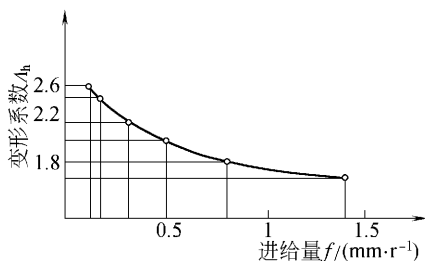


图 2.14 进给量对变形系数 Δ_h 的影响

实验条件: 工件材料 40 钢 $\mu_p = 4 \text{ mm}$ $v_c = 100 \text{ m/min}$ $\gamma_o = 10^\circ$ $k_r = 60^\circ$ $\lambda_s = 0^\circ$

2.2 切削力

切削过程中工件作用在刀具上的切削抗力称为切削力。切削力直接决定着切削热的产生,并影响刀具磨损、破损、刀具耐用度、加工精度和已加工表面质量。在生产中,切削力又是计算切削功率,制定切削用量,监控切削状态,设计和使用机床、刀具、夹具的必要依据。因此,研究切削力的规律和计算方法,将有利于分析切削机理,并对生产实际有重要的实用意义。

2.2.1 切削力的来源及分解

1. 切削力的来源

在刀具作用下,被切削层金属、切屑和已加工表面层金属都要产生弹性变形和塑性变形。如图 2.15 所示,有法向力 $F_{\gamma n}$ 和 $F_{\alpha n}$ 分别作用于前、后刀面。由于切屑沿前刀面流出,故有摩擦力 F_γ 作用于前刀面;刀具与工件间有相对运动,又有摩擦力 F_α 作用于后刀面。 $F_{\gamma n}$ 与 F_γ 合成为 $F_{\gamma \gamma n}$, $F_{\alpha n}$ 与 F_α 合成为 $F_{\alpha \alpha n}$, $F_{\gamma \gamma n}$ 与 $F_{\alpha \alpha n}$ 再合成为 F , F 就是作用在刀具上的总切削力。对于锐利的刀具,作用在前刀面上的力是主要的,作用在后刀面上的 $F_{\alpha n}$ 和 F_α 很小,分析问题时可以忽略不计。

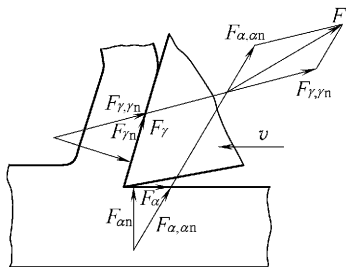


图 2.15 作用在刀具上的切削力

综上所述,切削力来源于两方面:一是切削层金属、切屑和工件表面层金属的弹性变

形和塑性变形所产生的抗力,二是刀具与切屑、工件表面间的摩擦阻力。

2. 切削力的分解

图 2.16 所示为车削外圆时的切削力。为了便于测量、研究和计算,常将切削合力 F 分解为三个互相垂直的分力:

1) 切削力 F_c (切向力) 切削合力 F 在主运动方向的分力。它垂直于基面,与切削速度 v_c 的方向一致。

2) 背向力 F_p (径向力) 切削合力 F 在加工表面法线方向上的分力。它在基面内,并与进给方向相垂直,也称吃刀抗力、切深抗力。

3) 进给力 F_f (轴向力) 切削合力 F 在进给方向的分力。它在基面内,并与进给方向相平行,也称进给抗力。

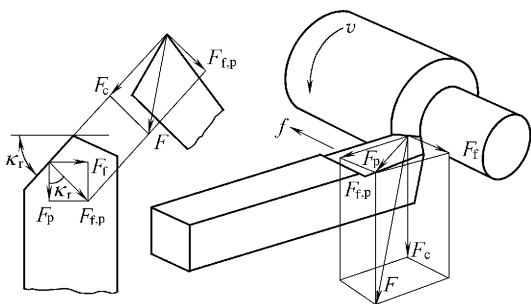


图 2.16 切削力的分解

由图 2.16 可知

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_{fp}^2} = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad (2.3)$$

F_p 、 F_f 与 F_{fp} 有如下关系:

$$F_p = F_{fp} \cos \kappa_r; F_f = F_{fp} \sin \kappa_r \quad (2.4)$$

一般情况下, F_c 最大, F_p 和 F_f 小一些。 F_p 、 F_f 与 F_c 的大致关系为:

$$F_p = (0.15 \sim 0.7) F_c$$

$$F_f = (0.1 \sim 0.6) F_c$$

F_c 是计算切削功率和设计机床的主要依据。车削外圆时, F_p 虽不作功,但会造成工件变形或引起振动,影响加工精度和已加工表面质量,特别是车细长轴时 F_p 对工件变形的影响十分突出。 F_f 作用在进给机构上,是设计进给机构或校核进给系统零件强度的依据。

2.2.2 切削力测定和切削力实验公式

1. 切削力的测量原理

测力仪的种类很多,目前应用最广的是电阻应变片式测力仪。

电阻式测力仪的工作原理是在测力仪的弹性元件上粘贴电阻应变片(图 2.17 中的 $R_1 \sim R_4$) ,然后将电阻应变片连接成电桥。设电桥各臂的电阻分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_4 。如果 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$,则电桥平衡 ,B、D 两点间电位差为零 ,电流表中没有电流通过。在切削力 F_c 的作用下 ,电阻应变片随弹性元件变形 ,从而改变其电阻值 :顶部的电阻应变片 R_1 和 R_4 在张力作用下 ,长度增大 ,截面积缩小 ,电阻值增大 ,而底部的 R_2 和 R_3 在压力作用下 ,长度缩短 ,截面积加大 ,电阻值减小 ,电桥的平衡条件受到破坏。于是 ,B、D 两点间产生电位差 ,通过二次仪表可将这两点间的电流、电压或电功率的数值放大、显示和记录下来。这几个电参数与切削力成正比 ,经过机械标定和电标定 ,可以得到电参数与切削力之间的关系曲线(即标定曲线) 。测力时 ,只要知道电参数 ,便能从标定曲线上查知切削力的数值 ,或者采用计算机辅助 ,直接获得各分力与总切削力的数值。同理 ,在进给方向和切削背向也同样安装了测力电桥 ,以便通过检测电参数而获得这两个方向的作用力 F_f 和 F_p 。当测知了三个方向的分力后 ,还应通过计算扣除相间干扰误差 ,获得真实的各向分力和总切削力。

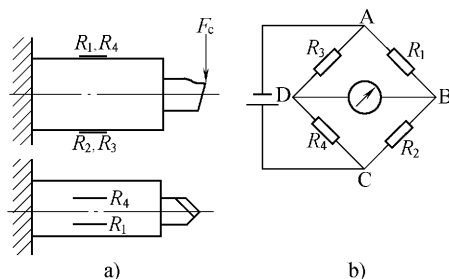


图 2.17 电阻应变片式测力仪

2. 计算切削力的经验公式

计算切削力的经验公式是通过大量实验 ,用测力仪测得各向分力后 ,对所得数据进行数学处理而获得的。计算切削力的实验公式如下 :

$$\text{切削力} \quad F_c = C_{F_c} a_p^{x_{F_c}} f^{y_{F_c}} v_c^{n_{F_c}} k_{F_c} \quad (2.5)$$

$$\text{背向力} \quad F_p = C_{F_p} a_p^{x_{F_p}} f^{y_{F_p}} v_c^{n_{F_p}} k_{F_p} \quad (2.6)$$

$$\text{进给力} \quad F_f = C_{F_f} a_p^{x_{F_f}} f^{y_{F_f}} v_c^{n_{F_f}} k_{F_f} \quad (2.7)$$

式中 C_{F_c} 、 C_{F_p} 、 C_{F_f} ——与工件材料、刀具材料有关的影响系数 ,其大小与实验条件有关 ;

x_{F_c} 、 x_{F_p} 、 x_{F_f} ——背吃刀量 a_p 对切削各分力的影响指数 ;

y_{F_c} 、 y_{F_p} 、 y_{F_f} ——进给量 f 对切削各分力的影响指数 ;

$n_{F_c}、n_{F_p}、n_{F_f}$ ——切削速度 v_c 对切削各分力的影响指数；

$k_{F_c}、k_{F_p}、k_{F_f}$ ——实验条件与计算条件不同时的修正系数。

对于最常见的外圆车削、镗孔等 $x_{F_c} = 1$ $y_{F_c} = 0.75$ $n_{F_c} = 0$ 。这是一组最典型的值,不仅用于计算切削力,还可用于分析切削中的一些现象。

2.2.3 单位切削力、切削功率

1. 单位切削力

用单位切削力 p 来计算主切削力是一种更简便的形式。单位切削力是指切除单位切削层面积所产生的主切削力,用 p 表示为:

$$p = \frac{F_c}{A_c} = \frac{F_c}{a_p f} = \frac{F_c}{h_D b_D} \quad (2.8)$$

2. 切削功率

切削功率 P_c 指在切削过程中所消耗的功率,是各切削分力消耗功率的和。由于主运动方向上的功率消耗最大,通常用主运动消耗的功率表示切削功率 P_c (kW):

$$P_c = \frac{F_c v_c}{60} \times 10^{-3} \quad (2.9)$$

则机床电动机所需功率 P_E (kW) 为:

$$P_E = P_c / \eta \quad (2.10)$$

式中 η ——机床传动的效率,一般取 $\eta = 0.75 \sim 0.85$; F_c 单位是 N, v_c 单位是 m/min。上式是校验和选取机床电动机的主要依据。

2.2.4 影响切削力的因素

1. 工件材料

工件材料对切削力的影响是通过切削变形、刀具前面上的摩擦而起作用的,其中影响较大的因素主要是工件材料的强度、硬度和塑性。材料的强度、硬度越高,则屈服强度越高,切削力越大。在强度、硬度相近的情况下,材料的塑性(伸长率)、韧性越大,则刀具前面上的平均摩擦系数越大,切削力也就越大。例如,不锈钢 1Cr18Ni9Ti 的强度、硬度与 45 钢相近,但其伸长率是 45 钢的 4 倍,加工硬化程度显著。切削不锈钢要比切削 45 钢的切削力大 25% 左右。铝、铜等有色金属虽然塑性很大,但其加工硬化能力差,所以切削力小。加工铸铁时,由于其强度和塑性均比钢小很多,而且产生的崩碎切屑与前面的接触面积小,摩擦抗力小,所以切削力比钢小。

2. 切削用量的影响

(1) 进给量 f 和背吃刀量 a_p

进给量 f 和背吃刀量 a_p 增加,切削力 F_c 增加,但影响程度不同。因为,进给量 f 增大时,切削层(公称)宽度 b_D 不变,切削层(公称)厚度 h_D 增大,平均变形减小,故切削力有所增加;而背吃刀量 a_p 增大时,切削层(公称)厚度 h_D 不变,切削层(公称)宽度 b_D 增大,切削刃上的切削负荷也随之增大,即切削变形抗力和刀具前面上的摩擦力均成正比地增加。

在实际生产中,可应用这个规律来提高生产率。由于在相同的切削层横截面积上切削效率相同,但增大进给量与增大背吃刀量相比,前者既减小了切削力又减小了切削功率,如果消耗相同的机床功率,则允许选用更大的进给量切削,可以切除更多的金属层材料。

(2) 切削速度 v_c

在切削塑性金属材料时,切削速度 v_c 对变形系数 Λ_h 和切削力 F_c 的影响规律是一致的,即由积屑瘤的变化周期及刀-屑界面上的摩擦系数的变化情况决定。

以车削45钢为例,由实验可知:当切削速度在5~20 m/min区域内增加时,积屑瘤高度逐渐增加,切削力减小;切削速度继续在20~35 m/min范围内增加,积屑瘤逐渐消失,切削力增加;在切削速度大于35 m/min时,由于切削温度上升,摩擦系数减小,切削力下降。一般切削速度超过90 m/min时,切削力无明显变化。

在切削脆性金属材料工件时,因塑性变形很小,刀-屑界面上的摩擦也很小,所以切削速度 v_c 对切削力 F_c 无明显影响。

在实际生产中,如果刀具材料和机床性能许可,采用高速切削,既能提高生产效率,又能减小切削力。

3. 刀具几何参数

前角 γ_o 增大时,若后角不变,刀具容易切入工件,有助于切削变形的减小,使变形抗力减小,所以切削力减小。此外,前角增大,导致剪切角 ϕ 增大并促使切削变形减小,而使切削力减小。一般加工塑性大的材料时,增大前角则总切削力明显减小;而加工脆性材料时,增大前角对减小总切削力的作用不显著。

负倒棱大大提高了正前角刀具的刃口强度,但同时也增加了负倒棱前角(负前角)参加切削的比例,负前角的绝对值越大,切削变形程度越大,所以切削力越大。

主偏角 κ_r 的大小会影响切削厚度 h_D 的大小,其次可改变 F_p 、 F_f 的比值。在进给量 f 和背吃刀量 a_p 保持不变的前提下,主偏角增大,切削厚度 h_D 增大,切削变形减小,使切削力减小,但当主偏角进一步增加至 $60^\circ \sim 90^\circ$ 时,刀尖圆弧半径 r_s 在切削刃上占切削宽度的比例增加,使切屑流出时挤压加剧,切削力逐渐增大。一般 $\kappa_r = 60^\circ \sim 75^\circ$ 时能减小切削力 F_c 和切深抗力(背向力) F_p ,因此主偏角为 75° 的车刀在生产中得到广泛应用。

刀尖圆弧半径 r_ε 增大,则切削刃圆弧部分的长度增加,切削变形增大,使切削力增大。此外 r_ε 增大,整个主切削刃上各点主偏角的平均值减小,从而使 F_p 增大, F_f 减小。

4. 刀具磨损

刀具后面磨损后,作用在后面的法向力 $F_{n\alpha}$ 和摩擦力 $F_{f\alpha}$ 都增大,故切削力 F_c 、背向力 F_p 增大。

5. 刀具材料及切削液

刀具材料对切削力的影响是由于刀具材料与工件材料之间的亲和力和摩擦系数等因素决定的。若两者之间的摩擦系数小,则切削力小。切削过程中采用切削液可减小刀具、工件与切屑接触面间的摩擦,有利于减小切削力。

2.3 切削热与切削温度

切削热和切削温度是切削加工中发生的又一重要的物理现象。切削力所作的功绝大多数转化为切削热。除少部分切削热直接辐射散发到周围空间外,如果不用冷却液的话,其余大部分热量将传至工件、刀具、切屑,致使整个工艺系统受热而升温,引起工艺系统热变形,加速刀具磨损。因而研究切削热的产生和传导规律,揭示影响切削温度的各种因素,对保证加工精度、延长刀具使用寿命具有重要的实用意义。

2.3.1 切削热的来源与传导

切削加工时,切削力使切削层金属发生弹性变形和塑性变形而做功,切削功绝大部分转为热能,这是切削热的一个主要来源。此外,切屑与前刀面间的摩擦以及工件与后刀面间的摩擦所作的摩擦功,则是产生切削热的又一个来源。

如果忽略进给运动所消耗的功,并假定主运动所消耗的功全部转化为热能,则单位时间内产生的切削热可由下式算出:

$$Q = F_c v_c \quad (2.11)$$

式中 Q ——单位时间内产生的切削热, W;

F_c ——切削力, N;

v_c ——切削速度, m/s。

所产生的切削热由切屑、工件、刀具以及周围的介质传导出。影响热量传递的主要因素是工件和刀具材料的导热系数,以及周围介质的状况。据有关资料介绍,车削加工时,有 50% ~ 86% 的热量由切屑带走, 10% ~ 40% 传入车刀, 3% ~ 9% 传入工件, 1% 左右通过辐射传入空气。钻削加工时, 28% 热量由切屑带走, 14.5% 传入刀具, 52.5% 传入工件, 5% 左右传入周围介质。磨削加工时,

4% 热量由磨屑带走, 12% 传给砂轮, 84% 传入工件。

如果采用冷却性能好的切削液, 并采用好的冷却方法, 就能吸收大量的热量。

2.3.2 切削温度

切削温度一般指切屑与前刀面接触区域的平均温度, 是切削热在工件和刀具上作用的结果。切削温度的高低, 决定于切削热产生的多少和传散的快慢。

刀具上温度最高点不在切削刃上, 而在距离切削刃有一小段距离处(图 2.18), 这是由于剪切变形热及切屑连续摩擦热的作用, 以及刀楔处热量集中不易散发所致。

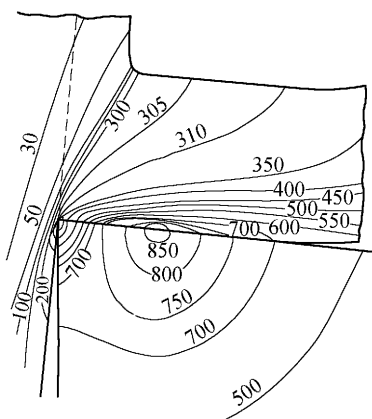


图 2.18 切屑、工件和刀具上的切削温度分布(温度单位 $^{\circ}\text{C}$)

切削温度的测定方法很多, 目前比较常用的是自然热电偶法。

自然热电偶法是利用工件和刀具构成热电偶的两极, 并分别连接测量仪表, 组成测量电路, 如图 2.19 所示, 刀具切削工件的切削区域产生高温形成热端, 刀具与工件为热电偶冷端, 冷、热端之间热电势由量仪(毫伏计)测定。切削温度越高, 测得热电势越大, 它们之间的对应关系可利用专用装置经标定得到。

通过测温实验, 在一定切削条件下获得的计算切削温度的指数公式为:

$$\theta = C_{\theta} a_p^{x_{\theta}} f^{y_{\theta}} v_c^{z_{\theta}} k_{\theta} \quad (2.12)$$

式中 C_{θ} ——与实验条件有关的系数;

x_{θ} 、 y_{θ} 、 z_{θ} ——分别表示切削用量 a_p 、 f 、 v_c 的指数;

k_{θ} ——切削条件改变后的修正系数。

最典型的一组指数值为 $x_{\theta} \approx 0.1$ 、 $y_{\theta} \approx 0.2$ 、 $z_{\theta} \approx 0.4$, 它们对分析切削温度的影响因素很有意义。

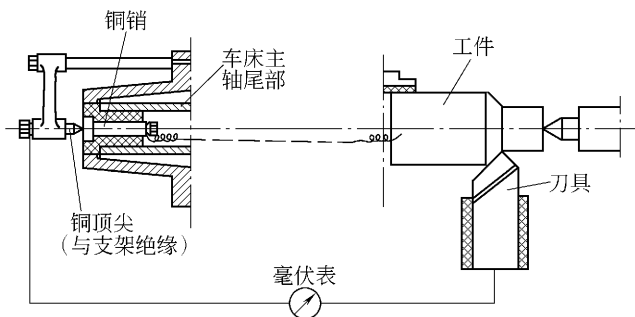


图 2.19 自然热电偶测温装置

2.3.3 影响切削温度的因素

1. 切削用量

(1) 切削速度 v_c 的影响

随着切削速度的提高,切削温度将显著上升。这是因为:切屑沿前刀面流出时,切屑底层与前刀面发生强烈摩擦而产生大量切削热;由于切削速度很高,在一个很短的时间内切屑底层的切削热来不及向切屑内部传导,而大量积聚在切屑底层,从而使切屑温度显著升高。另外,随着切削速度的提高,单位时间内的金属切除量成正比例地增加,消耗的功增大,切削热也会增大,故使切削温度上升。

(2) 进给量 f 的影响

随着进给量的增大,单位时间内的金属切除量增多,切削热增多,使切削温度上升。但切削温度随进给量增大而升高的幅度不如切削速度那么显著。这是因为:单位切削力和单位切削功率随 f 增大而减小,切除单位体积金属产生的热量减少了,同时 f 增大后切屑变厚,切屑的热容量增大,由切屑带走的热量增多,故切削区的温度上升不甚显著。

(3) 背吃刀量 a_p 的影响

背吃刀量 a_p 对切削温度的影响很小。这是因为 a_p 增大以后,切削区产生的热量虽增加,但切削刃参加工作的长度增加,散热条件改善,故切削温度升高并不明显。

切削温度对刀具磨损和耐用度影响很大。由以上规律(切削用量中 v 对 θ 影响最大 f 次之 a_p 最小)可知,为有效控制切削温度以提高刀具耐用度,选用大的背吃刀量或进给量比选用大的切削速度有利。

2. 刀具几何参数

(1) 前角 γ_o

前角 γ_o 的大小直接影响切削过程中的变形和摩擦,对切削温度有明显影

响。前角大切削温度低,前角小切削温度高,但前角达 $18^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 后对切削温度影响减小,这是因为楔角变小使散热体积减小的缘故。

(2) 主偏角 κ_r

主偏角 κ_r 加大后,切削刃工作长度缩短,切削热相对地集中,同时刀尖角减小,使散热条件变差,切削温度将升高。若减小主偏角,则刀尖角和切削刃工作长度加大,散热条件改善,从而使切削温度降低。

3. 刀具磨损

刀具磨损后切削刃变钝,使金属变形增加,同时刀具后刀面与工件的摩擦加剧,所以刀具磨损后切削温度上升。后刀面上的磨损量越大,切削温度的上升越迅速。

4. 工件材料

工件材料的硬度和强度越高,切削时切削力越大,所消耗的功越多,产生的切削热越多,切削温度就越高。

工件材料导热系数的大小,直接影响切削热的导出,如不锈钢 1Cr18Ni9Ti 和高温合金 GH131,不仅导热系数小,且在高温下仍有较高的强度和硬度,故切削温度高。

切削灰铸铁等脆性材料时,金属变形小,切屑呈崩碎状,与前刀面摩擦小,产生切削热少,故切削温度一般较切削钢料时低。

5. 切削液

浇注切削液对降低切削温度有明显的效果。

2.3.4 切削液

在金属切削过程中,正确使用切削液可以减少切屑、工件与刀具的摩擦,降低切削温度和切削力,减缓刀具磨损。切削液还可以减少刀具与切屑粘结,抑制积屑瘤和鳞刺的生长,减小已加工表面粗糙度值,减少工件热变形,保证加工精度和提高生产效率。

1. 切削液的作用

(1) 冷却作用

主要靠热传导带走大量的切削热,从而降低切削温度,提高刀具耐用度,减少工件、刀具的热变形,提高加工精度,降低断续切削时的热应力,防止刀具热裂破损等。在切削速度高,刀具、工件材料导热性差,热膨胀系数较大的情况下,切削液的冷却作用尤显重要。

(2) 润滑作用

是通过切削液渗透到刀具与切屑、工件表面之间形成润滑膜而达到的。金属切削时切屑、工件与刀具间的润滑大都属于边界润滑状态。由于切屑、工件与

刀具界面承受载荷(压力很高),油膜大部分被破坏,造成部分金属直接接触,而由于润滑液的渗透和吸附作用,部分接触面仍存在着润滑液的吸附膜,起到降低摩擦系数的作用。这种状态即为边界润滑。

切削液的润滑性能与其渗透性以及形成吸附膜的牢固程度有关。在切削液中添加含硫、氯等元素的极压添加剂后会与金属表面起化学反应,生成化学膜。它可以在高温(达 $400\sim 800^{\circ}\text{C}$)下使边界润滑层保持较好的润滑性能。

(3) 清洗与防锈作用

切削液具有冲走切削中产生的碎屑或磨粉的作用,可防止划伤已加工表面和机床导轨。清洗性能的好坏,与切削液的渗透性、流动性和使用的压力有关。切削液的清洗作用对于磨削精密加工和自动线加工十分重要,而深孔加工时常利用高压切削液进行排屑。

切削液还具有一定的防锈作用,可减少工件、机床、刀具的腐蚀。防锈作用的好坏取决于切削液本身的性能和加入的防锈添加剂的性质。

除了上述作用外,切削液还应当价廉,配制方便,稳定性好,不污染环境,也不影响人体健康。

2. 常用切削液及其选用

切削加工中,最常用的切削液有水溶液、乳化液、切削油与极压切削油等。

(1) 水溶液

在水中加入防锈剂、清洗剂、油性添加剂制成。其冷却、清洗作用较好,润滑作用较差。广泛用于磨削和粗加工。

(2) 乳化液

是在乳化油中加水稀释而成的乳白色液体。乳化油是由矿物油与表面活性乳化剂配制而成的一种油膏。按乳化油的含量可配制成不同浓度的乳化液。低浓度乳化液主要起冷却作用,高浓度乳化液主要起润滑作用。乳化液主要用于车削、钻削、攻螺纹。

乳化油中也常添加防锈剂、极压添加剂,来提高乳化液的防锈、润滑性能。

(3) 切削油

有矿物油(机油、轻柴油、煤油)、动植物油(豆油、菜油、蓖麻油、棉子油、猪油、鲸油)等。切削油一般用于滚齿、插齿、车螺纹及一般材料的精加工。

机油用于普通车削、攻螺纹,煤油或与矿物油的混合油用于精加工有色金属和铸铁,煤油或与机油的混合油用于普通孔或深孔精加工,蓖麻油或豆油也用于螺纹加工,轻柴油用于自动机上,做自身润滑液和切削液用。

(4) 极压切削油

在切削油中加入硫、氯和磷极压添加剂,形成非常结实的润滑膜,能显著提高润滑效果和冷却作用,常用于难加工材料(如高强度钢、高温合金等)的精加工。

2.4 磨削机理

2.4.1 磨削过程

1. 磨粒的形状

砂轮表面上磨粒可近似地看作是一把把微小的刀刃,其几何形状和角度有很大差异,致使切削情况相差较大。

磨粒一般是用机械方法破碎磨料而获得。磨粒具有多种多样的几何形状,如图 2.20 所示,其中以菱形八面体最为普遍。磨粒的顶锥角通常为 $90^\circ \sim 120^\circ$,磨削时基本上以较大的负前角($-60^\circ \sim -80^\circ$)进行切削,同时其尖部均有钝圆,刃口圆弧半径 ρ 约在几微米至几十微米之间。随着磨粒的磨损,其尖部负前角和钝圆半径还会增大。磨粒的排列(刃距、高低)是随机的,且随着砂轮的磨损而不断变化。

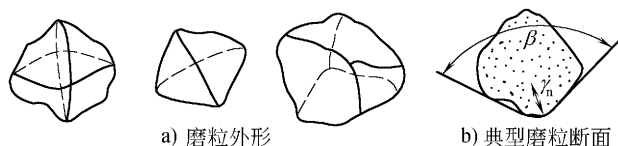


图 2.20 磨粒的形状

2. 磨屑的形成过程

在磨削过程中,由于砂轮工作面上的磨粒分布不规则,切削刃具有较大的负前角,切削为高速多点切削,单个磨粒的切削深度极小,磨粒切削刃具有自锐作用等,使磨削过程不同于切削剪切变形的过程。单个磨粒的磨削过程大致分为滑擦、刻划和切削三个阶段,如图 2.21 所示。

(1) 滑擦阶段(弹性变形阶段)

在滑擦阶段,由于磨粒切削刃刚刚开始与工件接触,切削厚度由零逐渐增大,但切削厚度 h_D 极小。由于磨粒有很大的负前角和较大的刃口圆弧半径,砂轮结合剂及工件、磨床系统的弹性变形产生微量退让,磨粒仅在工件表面上滑擦而过,只产生弹性变形,不产生切屑。此时在工件表面上产生热应力。

(2) 刻划阶段(塑性变形阶段)

随着磨粒挤入深度的增大,磨粒与工件表面的压力逐步加大,表面层也由弹性变形过渡到塑性变形。此时挤压摩擦剧烈,有大量的热产生,当金属被加热到临界点时,法向热应力超过材料的屈服强度,切削刃就开始切入材料表层中,使材料表层产生塑性流动,被推向磨粒的前方和两侧,在工件表面刻划出沟痕,沟

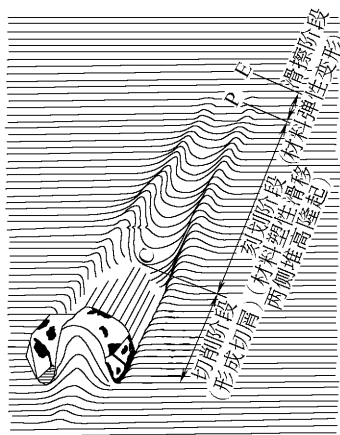


图 2.21 磨粒的磨削过程

痕的两侧则产生了隆起。因磨粒的切削厚度未达到形成切屑的临界值,而不能形成切屑。此时,磨削表层产生热应力和弹性、塑性变形应力。

(3) 切削阶段(磨屑形成阶段)

当挤入深度增大到临界值时,被切削材料的切应力和温度都达到了一定数值,金属层在磨粒的挤压下明显地沿剪切面滑移,形成切屑沿前(刀)面流出。此时,工件的表层也产生热应力和变形应力。

由于磨削过程中存在着弹性、塑性变形,使得磨粒在切削过程中与工件表面的实际生成曲线、理论干涉曲线、实际干涉曲线不能完全重合,如图 2.22 所示。理论干涉曲线深于实际干涉曲线,实际干涉曲线深于表面实际生成曲线。这是导致磨削残留余量、降低磨削精度的重要原因。

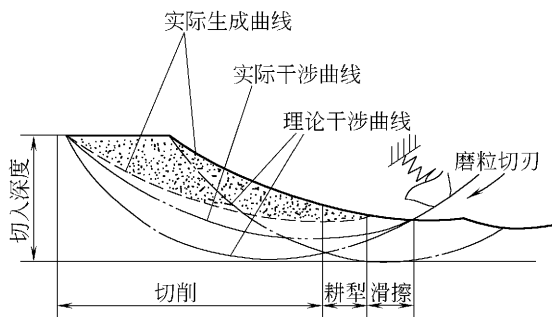


图 2.22 磨削表面的形成

由于磨粒的形状、大小和分布各不相同,只有砂轮表面最外层的锋利磨粒才可能连续经过滑擦、刻划、切削、刻划、滑擦的阶段。而低于最外层的磨粒,可能

只经过滑擦、刻划、滑擦阶段而未进入切削阶段,有的磨粒甚至只是在工件表面上滑擦而过或根本未与工件接触。由于磨削速度很高,滑擦作用会产生很高温度,引起磨削表面的烧伤、裂纹等缺陷。因此,滑擦作用对磨削表面质量有不利影响。

刻划所引起的隆起现象对磨削表面粗糙度有较大影响。材料或热处理状态不同,隆起的凸出量也不同。材料的硬度和强度较高,隆起凸出量较小,反之其隆起凸出量较大。因此,硬度较高的工件易获得较小的表面粗糙度值。

此外,隆起凸出量与磨削速度有关,即随着磨削速度的增加,隆起凸出量下降。这是由于在高速磨削时,材料的塑性变形的传播速度远小于磨削速度,而使磨粒侧面的材料来不及变形,这是高速磨削能减小加工表面粗糙度值的原因之一。

磨屑形态如图 2.23 所示。磨削塑性材料时,形成带状切屑;磨削脆性材料时,形成挤裂切屑;在磨削的高温下切屑熔化可成为球状或灰烬形态。

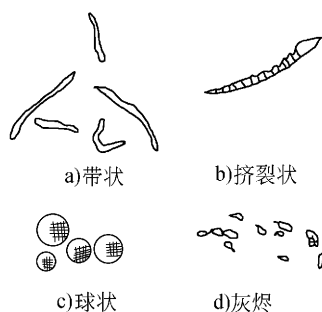


图 2.23 磨屑形态

2.4.2 磨削力

单个磨粒切除的材料虽然很少,但一个砂轮表层有大量磨粒同时工作,而且磨粒的工作角度很不合理,因此总的磨削力相当大。通常把总磨削力分解为三个分力: F_c ——磨削力; F_p ——背向力; F_f ——进给力。磨削加工的三向分力如图 2.24 所示。

1. 磨削力的主要特征

① 单位磨削力很大。由于磨粒几何形状的随机性和参数的不合理,磨削时的单位磨削力 p 值很大,可达 $70\,000\text{ N/mm}^2$ 以上。

② 三向分力中背向力 F_p 值最大,在正常磨削条件下 F_p/F_c 约为 $2.0 \sim 2.5$ 。 F_p 与砂轮轴、工件的变形及振动有关,直接影响加工精度与表面质量。

2. 影响磨削力的因素

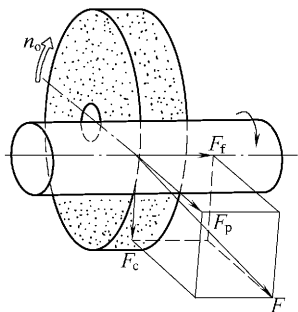


图 2.24 磨削力的三个分力

当砂轮速度 v_s 增大时,单位时间内参加切削的磨粒数量随之增大,因此每个磨粒的切削厚度减小,磨削力随之减小。

当工件速度 v_w 和轴向进给量增大时,单位时间内磨去的金属量增大,如果其他条件不变,则每个磨粒的切削厚度随之增大,从而使磨削力增大。

当径向进给量 f_r 增大时,不仅每个磨粒的切削厚度将增大,而且使砂轮与工件的磨削接触弧长增大,同时参加磨削的磨粒数增多,因而使磨削力增大。

砂轮的磨损会使磨削力增大,因此磨削力的大小在一定程度上可以反映砂轮上磨粒的磨损程度。如果磨粒的磨损用磨削时工作台的行程次数(反映了砂轮工作时间的长短)间接地表示,则随着行程次数的增大,径向磨削力 F_r 和切向磨削力 F_t 都将增大,但 F_r 增大的速率远比 F_t 为快。

2.4.3 磨削热和磨削温度

1. 磨削温度的基本概念

磨削时,由于速度很高,磨粒对工件进行滑擦、刻划、切削的过程中,所消耗的能量绝大部分转化为热能,即形成磨削热。此外,切除单位体积金属所消耗的能量也高(约为车削时的 10~20 倍),因此磨削温度很高。为了明确“磨削温度”的含义,把磨削温度区分为砂轮磨削区温度 θ_A 和磨粒磨削点温度 θ_{dot} (图 2.25),两者不能混淆。磨粒磨削点温度 θ_{dot} 瞬时可达 1 000℃ 左右,而砂轮磨削区温度 θ_A 只有几百摄氏度。因为切削热只有小部分传入工件,工件温度上升不到几十摄氏度。但工件的温升将影响工件的尺寸、形状精度。磨粒磨削点温度 θ_{dot} 不但影响加工表面质量,而且与磨粒的磨损等关系密切。磨削区温度与磨削表面烧伤和裂纹的出现密切相关。

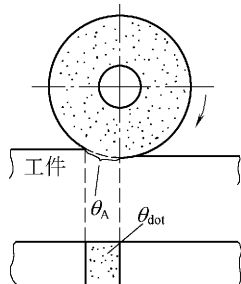


图 2.25 磨削温度

2. 影响磨削温度的主要因素

影响磨削温度的主要因素为磨削用量、工件材料性能及砂轮特性。

(1) 砂轮速度 v_s

砂轮速度增大,单位时间内的工作磨粒数将增多,单个磨粒的切削厚度变小,挤压和摩擦作用加剧,滑擦热显著增多。此外还会使磨粒在工件表面的滑擦次数增多。所有这些都将促使磨削温度升高。

(2) 工件速度 v_w

工件速度增大就是热源移动速度增大,工件表面温度可能有所降低,但不明显。这是由于工件速度增大后增大了金属切除量,从而增加了发热量。因此,为了更好地降低磨削温度,应该在提高工件速度的同时,适当降低径向进给量,使单位时间内的金属切除量保持为常值或略有增加。

(3) 径向进给量 f_p

径向进给量的增大,将导致磨削过程中磨削变形力和摩擦力的增大,从而引起发热量的增多和磨削温度的升高。

(4) 工件材料

金属的导热性越差,则磨削区的温度越高。对钢来说,含碳量高,则导热性差。铬、镍、铝、硅、锰等元素的加入会使导热性显著变差。合金的金相组织不同,导热性也不同,按奥氏体、淬火和回火马氏体、珠光体的顺序变好。磨削冲击韧度和强度高的材料,磨削区温度也比较高。

(5) 砂轮硬度与粒度

用软砂轮磨削时的磨削温度低,反之则磨削温度高。由于软砂轮的自锐性好,砂轮工作表面上的磨粒经常处于锐利状态,减少了由于摩擦和弹、塑性变形而消耗的能量,所以磨削温度较低。砂轮的粒度粗时磨削温度低,其原因在于砂轮粒度粗,则砂轮工作表面上单位面积的磨粒数少,在其他条件均相同的情况下与细粒度的砂轮相比,和工件接触面的有效面积较小,并且单位时间内与工件加工表面摩擦的磨粒数较少,有助于磨削温度的降低。

2.4.4 磨削过程中的砂轮磨损

砂轮磨损包含磨粒的磨耗磨损、磨粒破碎和脱落磨损等三种形态(图 2.26)。

磨耗磨损是由于磨粒与工件之间的摩擦、粘结和扩散而引起的,一般发生在磨粒与工件的接触处(图 2.26 中的 A 处)。开始时,在磨粒刃尖上出现一磨损的微小平面,当微小平面逐步增大时,磨刃就无法顺利切入工件,而只是在工件表面产生挤压作用,从而使磨削热增加,磨削过程恶化。磨粒破碎发生在一个磨粒的内部(图 2.26 中的 B-B 处)。磨粒在磨削过程中,在多次急热急冷作用

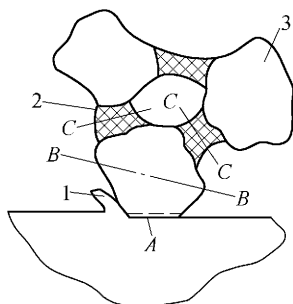


图 2.26 砂轮磨损的三种形态

1—切屑 2—结合剂 3—磨粒

A—磨耗磨损 B—B—磨粒破碎 C—C—脱落磨损

下表面形成极大的热应力,导致局部破碎。磨粒的导热系数越小,热膨胀系数越大,就越容易破碎。脱落磨损(图 2.26 中的 C—C 处)的难易主要取决于结合剂的强度。磨削时,随着磨削温度的上升,结合剂强度下降,当磨削力超过结合剂强度时,整个磨粒从砂轮上脱落,形成脱落磨损。

砂轮的磨损过程可分为三个磨损期(图 2.27),而各个磨损期的磨损机理不同。在初期磨损中,主要是磨粒的破碎磨损。这是由于刚修整过的砂轮表面仍不平整,少数磨粒比较突出,工作时这些磨粒的负荷比较大,因而迅速破碎。同时,在修整过程中有些磨粒在修整器的作用下,磨粒内部产生内应力及裂纹,这些磨粒在磨削力作用下也会迅速破碎。因此,初期磨损阶段的曲线较陡。第二期磨损虽有一定数量的磨粒产生破碎磨损,但主要是磨耗磨损,故曲线较前者为缓。第三期磨损主要是磨削力超过结合剂强度的脱落磨损,所以曲线也较陡。

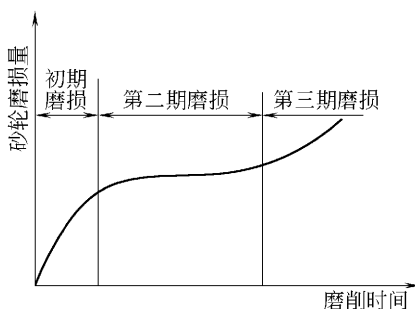


图 2.27 砂轮的三个磨损期

砂轮经过三个磨损期后,会导致磨削性能恶化。当砂轮硬度较高,磨削负荷较轻时,砂轮出现钝化现象,会使金属切除率明显下降;当砂轮硬度较低,磨削负荷较重时,砂轮出现脱落现象,会使得砂轮廓形改变,严重影响磨削精度与表面

质量。在磨削碳钢时,磨削产生的高温使切屑软化,嵌塞在砂轮的孔隙处,造成砂轮堵塞;磨削钛合金时,切屑与磨粒的亲合力强,从而造成粘附或堵塞。砂轮堵塞后即失去切削能力,磨削力及磨削温度剧增,表面质量显著下降。

2.4.5 磨削过程中的砂轮修整

砂轮虽有一定的自砺性,例如粗磨时砂轮的磨削表面就是靠自砺更新的,但在一般条件下不可能完全自砺,因此磨损后必须及时修整,以获得良好的表面形貌,保证其磨削性能。

砂轮的修整应起到两个作用:一是去除外层已钝化的磨粒或去除已被磨屑堵塞了的一层磨粒,使新的磨粒显露出来;二是使砂轮修整后具有足够数量的有效切削刃,从而提高已加工表面质量。前一要求容易达到,因为只要修整去适量的砂轮表面即可。后一要求则不易达到,往往随修整工具、修整用量和砂轮特性不同而异,满足后一要求的主要方法是控制砂轮的修整条件。

常用的修整工具有单颗粒金刚石、碳化硅修整轮、电镀人造金刚石滚轮等,其中最常用的是单颗粒金刚石修整工具。

修整砂轮的合格工艺条件是:

(1) 选用较小的修整导程

修整导程的大小主要取决于磨粒的尺度。磨粒的平均直径 d_g 可按式计算:

$$d_g = 0.7 \times 25.4/h \quad (2.13)$$

式中 d_g ——磨粒的平均直径, mm;

h ——磨粒的粒度号。

当修整的导程小于或等于砂轮磨粒的平均直径时,砂轮上的每颗磨粒都能与修整器的金刚石相碰而被切削,从而产生较多的有效切削刃,使砂轮有较好的切削性能。例如,在同样修整深度下,用 3 mm/s 的修整速度,工件表面粗糙度值能达到 $Ra0.63 \sim 0.32 \mu\text{m}$;如改用 0.5 ~ 0.25 mm/s 的低速来修整,工件表面粗糙度值可减小到 $Ra0.02 \mu\text{m}$ 以下。

从砂轮的磨损量来看,用小导程修整比用大导程修整的磨损量要小一些。因为小导程修整的表面有效磨粒数多,在同样磨削条件下每个磨粒的平均负荷小,所以磨损量小。

(2) 选用适宜的修整深度

修整深度的影响除与导程的影响有相似之处外,它还直接影响砂轮的使用寿命。如果修整深度太大,磨粒将会随着结合剂大量地脱落或折碎。这样,不仅砂轮损耗大,而且不易将砂轮修得平整,从而影响磨削表面质量。所以,修整砂轮时的修整深度不宜大于磨粒平均直径 d_g 。试验表明,一般修整深度只要略大

于 0.04 mm 即可。合理地选择修整深度,既可保证修整的质量,又能延长砂轮的总使用寿命。

生产实践中,除了合理选择修整导程和修整深度外,还采用光修砂轮(即修整深度为零)来进一步提高修整质量。

2.5 刀具磨损与刀具耐用度

2.5.1 刀具磨损

刀具在切削过程中将逐渐磨损。当磨损量达到一定程度时,切削力加大,切削温度上升,切屑形状和颜色改变,甚至产生振动。同时,工件尺寸可能超差,已加工表面质量也明显恶化,此时必须刃磨刀具或更换新刀。有时,刀具也可能在切削过程中突然损坏而失效,造成刀具破损。刀具的磨损、破损及其使用寿命对加工质量、生产效率和成本影响极大,因此它是切削加工中极为重要的问题之一。

1. 刀具磨损的形态

刀具失效的形式分为磨损和破损两类。破损是由于冲击、振动、热效应等原因致使刀具在切削过程中突然或过早出现的损坏现象,包括在切削刃或刀面上产生卷刃、裂纹、崩刀、破裂等,一般属非正常失效。刀具磨损是指在正常的切削过程中,刀具与工件或切屑的接触面上刀具材料的微粒被切屑或工件带走的现象。磨损使刀具原有的几何角度逐渐丧失。显然,在切削过程中,前后刀面不断与工件、切屑接触,在接触区里存在着强烈的摩擦,同时在接触区里又有很高的温度和压力。因此,随着切削的进行,前后刀面都将逐渐磨损。刀具正常磨损呈现为三种形式:

(1) 前刀面磨损(月牙洼磨损)

在切削速度较高、切削厚度较大的情况下加工塑性金属,当刀具的耐热性和耐磨性稍有不足时,在前刀面上刃口后方经常磨出一个月牙洼(图 2.28)。在产生月牙洼的地方切削温度最高,因此磨损也最大,从而形成一个凹窝(月牙洼)。月牙洼和切削刃之间有一条棱边。在磨损过程中,月牙洼逐渐加深加宽。当月牙洼扩展到接近刃口时,切削刃的强度将大大减弱,结果导致崩刃。月牙洼磨损量以其宽度 KB 和深度 KT 表示。

(2) 后刀面磨损

由于加工表面和后刀面间存在着强烈的摩擦,在后刀面上毗邻切削刃的地方很快就磨出一个后角为零的小棱面,这种磨损形式叫做后刀面磨损(图 2.28)。在切削速度较低、切削厚度较小的情况下,切削塑性金属以及脆性金属时,一般不产生月牙洼磨损,而存在着后刀面磨损。

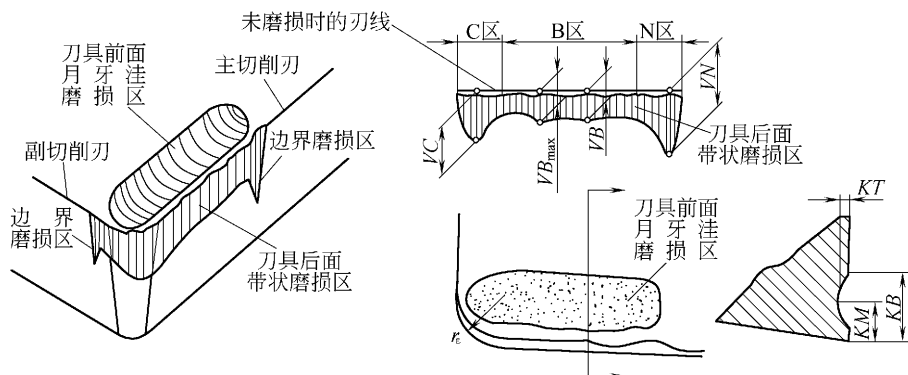


图 2.28 车刀典型磨损形式示意图

在切削刃参加切削工作的各点上,后刀面磨损是不均匀的。从图 2.28 可见,在刀尖部分(C区)由于强度和散热条件差,因此磨损剧烈,其最大值为 VC 。在切削刃靠近工件待加工表面处(N区),由于加工硬化层或毛坯表面硬层等影响,往往在该区产生较大的磨损沟而形成缺口,该区域的磨损量用 VN 表示。N区的磨损又称为“边界磨损”。在参与切削的切削刃中部(B区),其磨损较均匀,以 VB 表示平均磨损值,以 VB_{\max} 表示最大磨损值。

(3) 前刀面和后刀面同时磨损

这是一种兼有上述两种情况的磨损形式。在切削塑性金属时,若切削厚度适中,经常会发生这种磨损。

2. 刀具磨损原因

为了减小和控制刀具磨损以及研制新型刀具材料,必须研究刀具磨损的原因和本质,即从微观上探讨刀具在切削过程中是怎样磨损的。刀具经常工作在高温、高压下,在这样的条件下工作,刀具磨损经常是机械的、热的、化学的三种作用的综合结果,实际情况很复杂,尚待进一步研究。到目前为止,认为刀具磨损的机理主要有以下几个方面:

(1) 磨料磨损

切削时,工件或切屑中的微小硬质点(Fe_3C 、 TiC 等碳化物, AlN 、 Si_3N_4 等氮化物, SiO_2 、 Al_2O_3 等氧化物)以及积屑瘤碎片,不断滑擦前后刀面,划出沟纹,这就是磨料磨损,很像砂轮磨削工件一样,刀具被一层层磨掉。这是一种纯机械的作用。

磨料磨损在各种切削速度下都存在,但在低速下磨料磨损是刀具磨损的主要原因。这是因为,低速下切削温度较低,其他原因产生的磨损不明显。刀具抵抗磨料磨损的能力主要取决于其硬度和耐磨性。

(2) 粘结磨损(冷焊磨损)

工件表面、切屑底面与前后刀面之间存在着很大的压力和强烈的摩擦,因而它们之间会发生粘结,也称冷焊(即压力粘结)。由于摩擦副的相对运动,粘结将被破坏而被一方带走,从而造成粘结磨损。

由于工件或切屑的硬度比刀具的硬度低,所以粘结的破坏往往发生在工件或切屑一方。但由于交变应力、接触疲劳应力、热应力以及刀具表层结构缺陷等原因,粘结的破坏也会发生在刀具一方。这时刀具材料的颗粒被工件或切屑带走,从而造成刀具磨损。这是一种物理作用(分子吸附作用)。在中等偏低的速度下切削塑性材料时粘结磨损较为严重。

(3) 扩散磨损

切削金属材料时,切屑、工件与刀具在接触过程中,双方的化学元素在固态下相互扩散,改变了材料原来的成分与结构,使刀具表层变得脆弱,从而加剧了刀具磨损。当接触面温度较高时,例如用硬质合金刀片切削钢,当温度达到 800°C 时,硬质合金中的钴迅速地扩散到切屑、工件中,W₂C分解为钨和碳扩散到钢中(图2.29)。随着切削过程的进行,切屑和工件都在高速运动,它们和刀具表面在接触区内始终保持着扩散元素的浓度梯度,从而使扩散现象持续进行,于是硬质合金发生贫碳、贫钨现象。而钴的减少,又使硬质相的粘结强度降低。切屑、工件中的铁和碳则扩散到硬质合金中去,形成低硬度、高脆性的复合碳化物。扩散的结果加剧了刀具磨损。

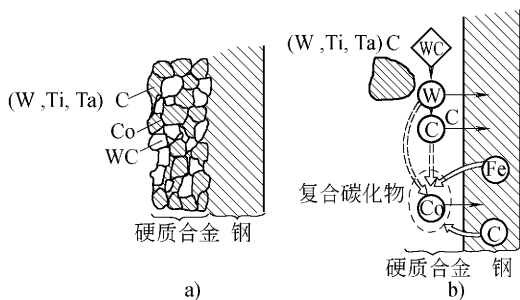


图 2.29 扩散磨损

扩散磨损常与粘结磨损、磨料磨损同时产生。前刀面上温度最高处扩散作用最强烈,于是该处形成月牙洼。抗扩散磨损能力取决于刀具的耐热性,氧化铝陶瓷和立方氮化硼刀具抗扩散磨损能力较强。

(4) 相变磨损

刀具材料因切削温度升高达到相变温度时,使金相组织发生变化,刀具材料表面的马氏体组织转化为奥氏体或索氏体组织,硬度降低而造成磨损,称为相变

磨损。高速钢在 $550 \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时发生相变。

(5) 氧化磨损

当切削温度达到 $700 \sim 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,空气中的氧在切屑形成的高温区中与刀具材料中的某些成分(Co , WC , TiC)发生氧化反应,产生较软的氧化物(Co_3O_4 , CoO , WO_3 , TiO_2),从而使刀具表面层硬度下降,较软的氧化物被切屑或工件擦掉而形成氧化磨损。这是一种化学反应过程。在主副切削刃工作的边界处(此处易与空气接触)最容易发生这种氧化反应。

总之,在不同的工件材料、刀具材料和切削条件下,磨损的原因和强度是不同的。图 2.30 所示为不同切削温度对磨损的影响。由图 2.30 可得到结论:对于一定的刀具和工件材料,切削温度对刀具磨损具有决定性的影响。高温时扩散磨损、相变磨损和氧化磨损强度较高;在中低温时,粘结磨损占主导地位;磨料磨损则在不同切削温度下都存在。

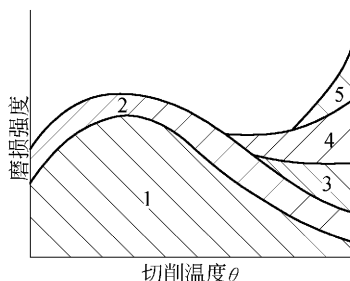


图 2.30 温度对磨损的影响

1—粘结磨损 2—磨粒磨损 3—扩散磨损 4—相变磨损 5—氧化磨损

3. 刀具磨损过程

以切削时间 t 和后刀面磨损量 VB 两个参数为坐标,则磨损过程可以用图 2.31 所示的一条磨损曲线来表示。磨损过程分为三个阶段。

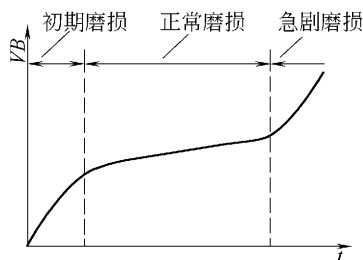


图 2.31 磨损过程

(1) 初期磨损阶段

本阶段的特点是,在极短的时间内 VB 上升很快。由于新刃磨后的刀具表

面存在微观不平度,后刀面与工件之间为凸峰点接触,故磨损很快。所以,初期磨损量的大小与刀具刃磨质量有很大的关系,通常 $VB = 0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。经过研磨的刀具,初期磨损量小,而且要耐用得多。

(2) 正常磨损阶段

本阶段的特点是,刀具在较长的时间内缓慢地磨损,且 VB 与 t 基本呈线性关系。经过初期磨损后,后刀面上的微观不平度被磨掉,后刀面与工件的接触面积增大,压强减小,且分布均匀,所以磨损量缓慢且均匀地增加。这就是正常磨损阶段,也是刀具工作的有效阶段。曲线的斜率代表了刀具正常工作时的磨损强度。磨损强度是衡量刀具切削性能的重要指标之一。

(3) 急剧磨损阶段

本阶段的特点是,在相对很短的时间内 VB 猛增,刀具因而完全失效。刀具经过正常磨损阶段后,切削刃变钝,切削力增大,切削温度升高,这时刀具的磨损情况发生了质的变化而进入急剧磨损阶段。这一阶段磨损强度很大。此时,如刀具继续工作,不但不能保证加工质量,反而消耗刀具材料,经济上不合算。因此,刀具在进入急剧磨损阶段前必须换刀或重新刃磨。

4. 刀具的磨钝标准

刀具磨损到一定限度就不能继续使用,这个磨损限度称为磨钝标准。一般刀具的后刀面上都有磨损,它对加工质量和切削力、切削温度的影响比前刀面磨损显著,同时后刀面磨损量易于测量,因此国际标准化组织(ISO)统一规定以 $1/2$ 背吃刀量处后刀面上测定的磨损带高度 VB 作为刀具磨钝标准(图 2.32)。

自动化生产中用的精加工刀具,常以沿工件径向的刀具磨损尺寸作为衡量刀具的磨钝标准,称为刀具径向磨损量,以 NB 表示(图 2.32)。

规定磨钝标准有两种考虑:一种是充分利用正常磨损阶段的磨损量,进而充分利用刀具材料,减少换刀次数,它适用于粗加工和半精加工;另一种是根据加工精度和表面质量要求确定磨钝标准,此时 VB 值应取较小值,称为工艺磨钝标准(磨钝标准的数值可参阅金属切削手册)。

在柔性加工设备上,经常用切削力的数值作为刀具的磨钝标准,从而实现对刀具磨损状态的自动监控。

工艺系统刚性较差时应规定较小的磨钝标准。因为当后刀面磨损后,切削力将增大,尤以背向力 F_p 增大最为显著。

切削难加工材料时,切削温度较高,一般应选用较小的磨钝标准。

国际标准化组织(ISO)推荐的硬质合金外圆车刀耐用度的磨钝标准可以是下列任何一种:

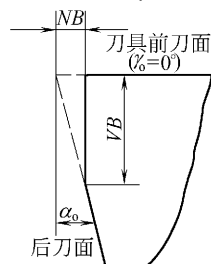


图 2.32 车刀的磨损量

- ① $VB = 0.3 \text{ mm}$;
- ② 如果主后面为无规则磨损,取 $VB_{\max} = 0.6 \text{ mm}$;
- ③ 前刀面磨损量 $KT = 0.06 + 0.3(f \text{ 为进给量})$ 。

2.5.2 刀具耐用度

1. 刀具耐用度的定义

刃磨后的刀具自开始切削直到磨损量达到磨钝标准为止的切削时间称为刀具耐用度,以 T 表示。耐用度指净切削时间,不包括用于对刀、测量、快进、回程等非切削时间。

刀具寿命是指一把新刀具从使用到报废为止的切削时间。它是刀具耐用度与刀具刃磨次数的乘积。

也可以用达到磨钝标准时所走过的切削路程 L_m 来定义耐用度。 L_m 等于切削速度 v_c 和耐用度 T 的乘积,即 $L_m = v_c T$ 。

刀具耐用度是一个重要参数。在相同切削条件下切削某种工件材料时,可以用耐用度来比较不同刀具材料的切削性能;同一刀具材料切削各种工件材料,可以用耐用度来比较材料的切削加工性;还可以用耐用度来判断刀具几何参数是否合理。对于某一切削加工,当工件、刀具材料和刀具几何形状选定之后,切削用量是影响刀具耐用度的主要因素。

2. 切削用量对刀具耐用度的影响

切削用量与刀具耐用度的关系是用实验方法求得的。通过单因素实验,固定其他切削条件,分别改变切削速度、进给量和背吃刀量,求出对应的 T 值,在双对数坐标纸上画出它们的图形,经过数据整理后可得出下列的刀具耐用度实验公式:

$$T^m = \frac{C_v}{v_c^{x_v} a_p^{y_v} f^{z_v}} K_r \quad (2.14)$$

式中 C_v ——与耐用度实验条件有关的系数;

m, x_v, y_v, z_v ——分别表示 T, a_p 和 f 的指数;

K_r ——切削条件与实验条件不同的修正系数。

用 YT5 硬质合金车刀切削 $\sigma_b = 0.63 \text{ GPa}$ (65 kgf/mm^2) 的碳钢时,切削用量与刀具耐用度的关系式为

$$T = \frac{C_v}{v_c^{2.25} a_p^{0.75} f^{0.75}}$$

由上式可知,切削速度 v_c 对刀具耐用度的影响最大,进给量 f 次之,背吃刀量 a_p 最小,这与三者对切削温度的影响顺序完全一致。这也反映出切削温度对刀具磨损、耐用度有着最重要的影响。

根据刀具耐用度计算的切削速度称为刀具耐用度允许的切削速度,用 v_T 表示。 v_T 的计算式为:

$$v_T = \frac{C_v}{T^m a_p^{x_v} f^{y_v}} K_v \quad (2.15)$$

上式反映了切削速度与刀具耐用度之间的关系,是选择切削速度的重要依据。指数 m 表示切削速度对刀具耐用度的影响程度。对于高速钢刀具,一般 $m = 0.1 \sim 0.125$; 对于硬质合金刀具 $m = 0.2 \sim 0.3$; 对于陶瓷刀具 m 值约为 0.4。 m 值较小,表示切削速度对刀具耐用度影响大; m 值较大,表明切削速度对耐用度的影响小,即刀具材料的切削性能较好。

3. 刀具耐用度的选择

在实际生产中,刀具耐用度同生产效率和加工成本之间存在着较复杂的关系。因此,刀具耐用度并不是越高越好。如果把刀具耐用度选得过高,则切削用量势必被限制在很低的水平,虽然此时刀具的消耗及其费用较少,但过低的加工效率也会使经济效果变得很差;若刀具耐用度选得过低,虽可采用较高的切削用量使金属切除量增多,但由于刀具磨损加快而使换刀、刃磨的工时和费用显著增加,同样达不到高效率、低成本的要求。

在生产实际中确定合理的耐用度有两种方法:一是以单位时间内加工工件的数量为最多的原则,或以加工每个工件的时间为最少的原则来确定刀具的耐用度,即最大生产率耐用度,用 T_p 表示;二是以单件工序成本为最低的原则来确定刀具耐用度,即经济耐用度,用 T_c 表示。

一般情况下多采用经济耐用度,只有当生产任务急迫或生产中出现不平衡的薄弱环节时,才选用最大生产率耐用度。机夹可转位刀具因其换刀时间短,刀具成本低而被广泛应用,机夹可转位刀具的经济耐用度已非常接近最大生产率耐用度,切削速度大大提高。

常用刀具耐用度的参考值如下:硬质合金焊接车刀的耐用度为 60 min;高速钢钻头的耐用度为 80 ~ 120 min;硬质合金端铣刀的耐用度为 120 ~ 180 min;齿轮刀具的耐用度为 200 ~ 300 min。

在生产中选择刀具耐用度时,一般应考虑以下原则:

① 刀具的复杂程度和制造、重磨的费用。简单的刀具如车刀、钻头等,耐用度选得低些;结构复杂和精度高的刀具,如拉刀、齿轮刀具等,耐用度选得高些。同一类刀具,尺寸大的,制造和刃磨成本均较高,耐用度规定得高些。

② 装卡、调整比较复杂的刀具,如多刀车床上的车刀、组合机床上的钻头、丝锥、铣刀以及自动机和自动线上的刀具,耐用度应选得高一些,一般为通用机床上同类刀具的 2 ~ 4 倍。

③ 生产线上的刀具耐用度应规定为一个班或两个班,以便能在换班时间内

换刀。有特殊快速换刀装置时,可将刀具耐用度减少到正常数值。

④ 精加工尺寸很大的工件时,刀具耐用度应按零件精度和表面粗糙度要求决定。为避免在加工同一表面时中途换刀,耐用度应规定得至少能完成一次走刀。

2.6 刀具几何参数与切削用量的选择

2.6.1 刀具几何参数的选择

刀具材料的优选对于切削过程的优化具有关键作用,但是,如果刀具几何参数的选择不合理也会使刀具材料的切削性能得不到充分的发挥。中国有句谚语:“工欲善其事,必先利其器”,说明了刀具的重要性,也说明了刀具合理的几何参数选择的重要意义。

在保证加工质量的前提下,能够满足刀具使用寿命长、生产效率高、加工成本低的刀具几何参数,称为刀具的合理几何参数。

刀具合理几何参数的基本内容包含:① 刀具角度,包括前角、后角、主偏角、刃倾角,以及副偏角、副后角等。② 刀面型式及参数,如卷屑槽、断屑台、铲背等。③ 切削刃的剖面形式及其参数,如负倒棱、消振棱、刃带等。④ 刃形,如直线刃、折线刃、圆弧刃、波形刃等。

1. 刀具合理几何参数选择应考虑的因素

(1) 工件材料

选择刀具合理几何参数,主要要考虑工件材料的化学成分、制造方法、热处理状态、物理和力学性能(包括硬度、抗拉强度、延伸率、冲击韧性、导热系数等),还有毛坯表层情况,工件的形状、尺寸、精度和表面质量要求等。

(2) 刀具材料和刀具结构

选择刀具合理几何参数,要考虑刀具材料的化学成分、物理和力学性能(包括硬度、抗弯强度、冲击韧性、耐磨性、热硬性和导热系数),还要考虑刀具的结构形式,如整体式,还是焊接式或机夹式。

(3) 具体的加工条件

选择刀具合理几何参数,也要考虑机床、夹具的情况,工艺系统刚性及功率大小,切削用量和切削液性能等。一般地说,粗加工时,着重考虑保证最大的生产率;精加工时,主要考虑保证加工精度和已加工表面质量要求;对于自动线生产用的刀具,主要考虑刀具工作的稳定性,有时还要考虑断屑问题;机床刚性和动力不足时,刀具应力求锋利,以减小切削力和振动。

(4) 各几何参数之间的联系

刀具几何参数是一个相互联系的有机整体,应综合起来考虑它们之间的相互作用与影响,分别确定其合理值。从本质上看,这是一个多变量函数的优化问题,若用单因素法则有很大的局限性。

2. 刀具角度的选择

(1) 前角及前面的选择

1) 前角的功用

增大前角可以减小切削变形和摩擦,从而减小切削力和切削功率,使切削时产生的热量减少,刀具寿命得以提高。增大前角还可以抑制积屑瘤的产生,改善已加工表面质量。

但是,增大前角会使楔角 β 减小。这一方面使切削刃强度降低,容易造成崩刃;另一方面会降低散热效应,使切削温度升高。因此,前角过大,刀具寿命也会下降。

由图 2.33 可知,前角太大或太小,刀具寿命都低。在一定的加工条件下,存在一个使刀具耐用度为最大值的前角 γ_{opt} ,通常称 γ_{opt} 为刀具的合理前角。

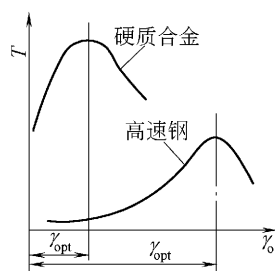


图 2.33 刀具的合理前角

2) 前角的选择原则

实践证明,刀具的合理前角主要取决于工件材料性质和刀具材料种类。

① 工件材料的性质 加工塑性材料(如钢)时,切屑变形较大,刀屑间的压力和摩擦力都较大。为了减小切屑变形和摩擦,宜选择较大的前角;加工脆性材料(如铸铁)时,切屑呈崩碎状,切削力集中在切削刃附近,为了减少崩刃,宜选择较小前角。工件材料强度或硬度较小时,宜选较大前角,以使切削刃锋利;当材料硬度或强度较高时,切削力较大,切削温度也较高,为了增强切削刃和提升散热效应,宜选较小前角;当材料的强度或硬度特别大时,甚至可采用负前角。

② 刀具材料 高速钢刀具的前角可比硬质合金刀具选得大一些,因为高速钢的强度和冲击韧度比硬质合金高一些。表 2.1 为硬质合金车刀前角的合理值。

表 2.1 硬质合金车刀前角的合理值

工件材料	低碳钢	中碳钢	合金钢	淬火钢	不锈钢	灰铸铁	铜及铜合金	铝及铝合金	钛合金
粗车	20°~25°	10°~15°	10°~15°	-15°	15°~20°	10°~15°	10°~15°	30°~35°	5°~10°
精车	25°~30°	15°~20°	15°~20°	~-5°	20°~25°	5°~10°	5°~10°	35°~40°	

③ 加工性质 粗加工时,切削力及其冲击都比较大,为使切削刃有足够强度,宜选用较小前角;精加工时,切削力小,为使刃口锐利,保证加工质量,宜选用较大前角。

3) 前刀面型式的选择

① 正前角平面型 如图 2.34a)所示,正前角平面型的特点为:制造简单,能获得较锋利的刃口,但传热能力差。一般用于精加工、成形车刀、铣刀和加工脆性材料的刀具。

② 正前角平面带倒棱型 如图 2.34b)所示,该平面型式中,倒棱($\gamma_{ol} \times b_\gamma$)是在主切削刃刃口处磨出一条很窄的棱边而形成的。倒棱可以提高刃口强度,增强散热能力,从而提高了刀具耐用度。若在硬质合金刀具刃口处磨出倒棱且相应增大前角,可改善切削性能。倒棱的宽度很窄,在切削塑性材料时,可按 $b_\gamma = 0.5 \sim 1$ 、 $\gamma_{ol} = -5^\circ \sim -10^\circ$ 选取。此时,切屑仍沿前面而不是沿倒棱流出,否则就成为负前角了。倒棱型一般用于粗切削铸、锻件或断续表面的加工。

③ 正前角曲面带倒棱型 如图 2.34c)所示,这种型式是在正前角平面带倒棱型的基础上,为了卷屑和增大前角,在前面上磨出一定的曲面而形成的。曲面型浪费刀具材料,且削弱刀片强度,常用于粗加工或精加工塑性材料的刀具上。

④ 负前角单面型 当磨损主要发生在后面上时,可制成如图 2.34d)所示的负前角单面型。此时刀片承受压应力,具有很好的刀刃强度,因此常用于切削高硬度(强度)材料和淬火钢材料,但是负前角会增大切削力和增大动力消耗。

⑤ 负前角双面型 如图 2.34e)所示,当磨损同时发生在前、后面上时,制成双面型负前角,可使刀片的重磨次数增多。此时负前角的棱面应有足够的宽度,以保证切屑沿该棱面流出。

(2) 后角及副后角的选择

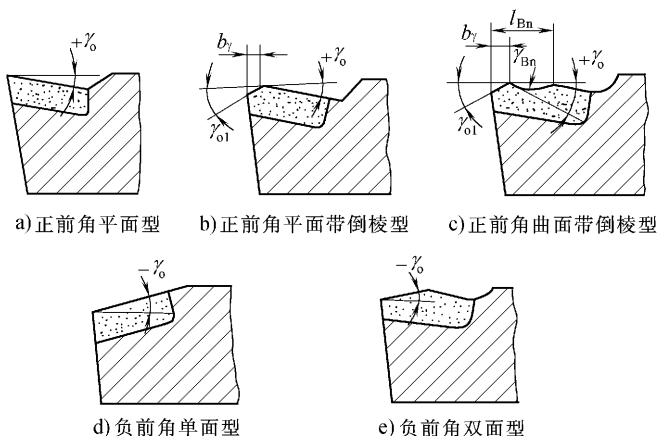


图 2.34 前面型式

1) 后角的功用

在切削过程中,后角的作用表现在以下几个方面:

① 增大后角(副后角)可减轻刀具后面与过渡表面之间的摩擦,使刀具磨损减小,寿命提高,故后角不能取负值。增大后角,还可使切削刃更锋利,有利于改善加工表面质量。

② 后角过大刀具的楔角会太小,刃区强度降低,散热效果减小,刀具磨损加快,反而会使刀具耐用度降低。因此,在一定的条件下同样存在一个刀具耐用度为较高的合理后角。

2) 合理后角的选择

刀具合理后角的选择,主要取决于切削层厚度 h_D (或进给量 f)的大小。具体选择时应注意以下几点:

① 当切削层厚度很小时,磨损主要发生在刀具后面,为了减少后面磨损和使切削刃锋利,宜选用较大后角;当切削层厚度很大时,后角宜小,这样可以增强切削刃及改善散热条件。

② 工件材料强度或硬度较高时,为了加强切削刃,宜取较小后角;工件塑性较大时,取较大后角可减轻刀具后面的摩擦。表2.2为硬质合金车刀后角的合理值。

表2.2 硬质合金车刀后角的合理值

工件材料	低碳钢	中碳钢	合金钢	淬火钢	不锈钢	灰铸铁	铜及铜合金	铝及铝合金	钛合金
粗车	$8^\circ \sim 10^\circ$	$5^\circ \sim 7^\circ$	$5^\circ \sim 7^\circ$	$8^\circ \sim$	$6^\circ \sim 8^\circ$	$4^\circ \sim 6^\circ$	$6^\circ \sim 8^\circ$	$8^\circ \sim 10^\circ$	$10^\circ \sim$
精车	$10^\circ \sim 12^\circ$	$6^\circ \sim 8^\circ$	$6^\circ \sim 8^\circ$	10°	$8^\circ \sim 10^\circ$	$6^\circ \sim 8^\circ$	$6^\circ \sim 8^\circ$	$10^\circ \sim 12^\circ$	15°

③ 工艺系统刚性差,容易出现振动时,应适当减小后角。

④ 对于尺寸精度要求高的刀具,宜取较小后角,以增加刀具的重磨次数。

⑤ 车刀、刨刀及端铣刀的副后角 α'_0 通常等于后角 α_0 ,切断刀、切槽刀、锯片铣刀,受其结构条件限制,角度只能取得很小,一般 $\alpha'_0 = 0.5^\circ \sim 2^\circ$ 。

3) 后面的型式

① 双重后面 为保证刃口强度,减少刃磨后面的工作量,常在车刀后面磨出双重后角,如图2.35a)所示。

② 消振棱 为了增加后面与过渡表面之间的接触面积,增加阻尼作用,消除振动,可在后面上刃磨出一条有负后角的倒棱,称为消振棱,如图2.35b)所示。其参数为 $b_{01} = 0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$, $\alpha_{01} = -5^\circ \sim -20^\circ$ 。

③ 刃带 对一些定尺寸刀具(如钻头、绞刀等),为便于控制刀具尺寸,避免

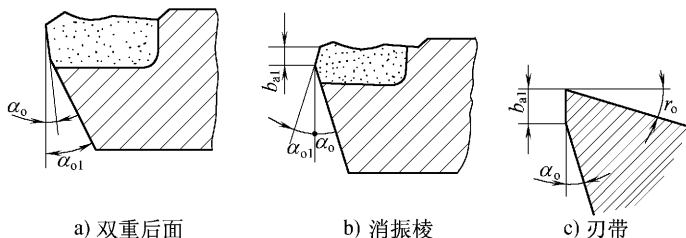


图 2.35 后面型式

重磨后尺寸精度的变化,常在后面磨出后角为 0° 的小棱边,称为刃带,如图 2.35c) 所示。刃带形成一条与切削刃等距的棱边,可使刀具起着稳定、导向和消振的作用,延长刀具使用时间。刃带不宜太宽,否则会增大摩擦作用。刃带宽度 $b_\alpha = 0.02 \sim 0.3 \text{ mm}$ 。

(3) 主偏角和副偏角的选择

1) 主偏角和副偏角的功用

① 影响已加工表面的残留面积高度 减小主偏角和副偏角可以减小已加工表面粗糙度值,特别是副偏角对已加工表面粗糙度影响更大。

② 影响切削层形状 主偏角直接影响切削刃工作长度和单位长度切削刃上的切削负荷。在切削深度和进给量一定的情况下,增大主偏角,切削宽度减小,切削厚度增大,切削刃单位长度上的负荷随之增大。因此,主偏角直接影响刀具的磨损和使用寿命。

③ 影响切削分力的大小和比例关系 增大主偏角可减小背向力 F_p ,但增大了进给力 F_f 。同理,增大副偏角也可使 F_p 减小,而 F_p 的减小有利于减小工艺系统的弹性变形和振动。

④ 影响刀尖角的大小 主偏角和副偏角共同决定了刀尖角 ε_r ,故直接影响刀尖强度、导热面积和容热体积。

⑤ 影响断屑效果和排屑方向 增大主偏角,切屑变厚变窄,容易折断。

2) 合理主偏角值的选择

① 粗加工和半精加工时,硬质合金车刀一般选用较大的主偏角,以利于减小振动,延长刀具使用寿命,容易断屑和可以采用大的切削深度。

② 加工很硬的材料时,如淬硬钢和冷硬铸铁,为减轻单位长度切削刃上的负荷,同时为改善刀头导热和容热条件,延长刀具使用寿命,宜取较小的主偏角。

③ 工艺系统刚性较好时,较小主偏角可延长刀具使用寿命,刚性不足(如车细长轴)时,应取较大的主偏角,甚至 $\kappa_r \geq 90^\circ$,以减小背向力 F_p 。

3) 合理副偏角值的选择

选取副偏角首先应满足已加工表面质量要求,然后再考虑刀尖强度、导热和

容热要求。

① 在不引起振动的情况下,一般副偏角可选取较小的数值,即 $\kappa'_r = 5^\circ \sim 10^\circ$ 。

② 精加工刀具的副偏角应取小值,必要时可磨出一段 $\kappa'_r = 0^\circ$ 的修光刃,如图 2.36c) 所示。

③ 加工高强度高硬度材料或断续切削时,应取小的副偏角($\kappa'_r = 4^\circ \sim 6^\circ$),以提高刀尖强度。

④ 切断刀、锯片铣刀和槽铣刀等,为了保证刀头强度和重磨后刀头宽度变化较小,只能取很小的副偏角,即 $\kappa'_r = 1^\circ \sim 2^\circ$ 。

4) 过渡刀的类型

在主切削刃与副切削刃之间有一条过渡刃,如图 2.36 所示。过渡刃有直线过渡刃和圆弧过渡刃两种。过渡刃是起调节主、副偏角作用的一个结构参数。许多刀具(如车刀、刨刀、铣刀等),都可能遇到由于减小主、副偏角而使切削力增大,加大主、副偏角而使加工表面粗糙的问题。若选用合适的过渡刃,能解决上述问题,起到粗加工时提高刀具强度延长刀具耐用度,精加工时降低表面粗糙度值的作用。

① 直线刃 如图 2.36a) 所示,常用于粗车或强力车削车刀上。一般取过渡刃偏角 $\kappa_{re} = \frac{1}{2}\kappa_r$, 长度 $b_e = 0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 。

② 圆弧刃 如图 2.36b) 所示,刀尖圆弧半径为 r_e 。 r_e 增大时,减小了主偏角的平均值,可减小表面粗糙度值,且能提高刀具耐用度,但会增大背向力 F_p , 容易引起振动,所以 r_e 不能过大。通常高速钢车刀的 $r_e = 0.5 \sim 3 \text{ mm}$, 硬质合金车刀的 $r_e = 0.5 \sim 2 \text{ mm}$ 。

③ 水平修光刃 如图 2.36c) 所示,是在刀尖处磨出一小段 $\kappa'_r = 0^\circ$ 的平行刀刃。长度一般应大于进给量,即 $b_e = (1.2 \sim 1.5)f$ 。具有修光刃的刀具,若刀刃平直,装刀精确,工艺系统刚度足够,即使在大进给切削条件下仍能达到很小的表面粗糙度值。

④ 大圆弧刃 如图 2.36d) 所示,即半径为 $300 \sim 500 \text{ mm}$ 的过渡刃。常用在宽刃精车刀、宽刃精刨刀、浮动镗刀等刀具上。

(4) 刃倾角的选择

1) 刃倾角的功用

① 影响刀尖强度和散热条件 当 $\lambda_s < 0^\circ$ 时,使远离刀尖的切削刃先切入工件,避免刀尖受到冲击,同时可使刀头强固,刀尖处导热和散热条件较好,有利于延长刀具使用寿命; $\lambda_s = 0^\circ$ 时次之; $\lambda_s > 0^\circ$ 时最差。

② 控制切屑流出方向 如图 2.37 所示,当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时,切屑流出的方向垂直

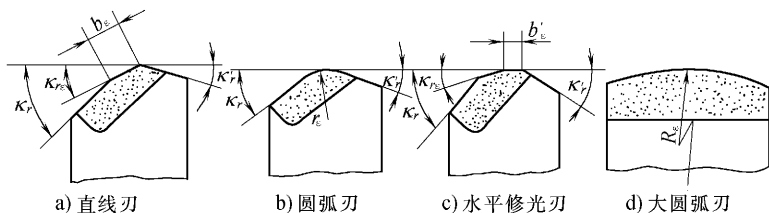


图 2.36 过渡刃型式

于主切削刃;当 $\lambda_s > 0^\circ$ 时,切屑流向待加工表面;当 $\lambda_s < 0^\circ$ 时,切屑流向已加工表面,会缠绕或划伤已加工表面。

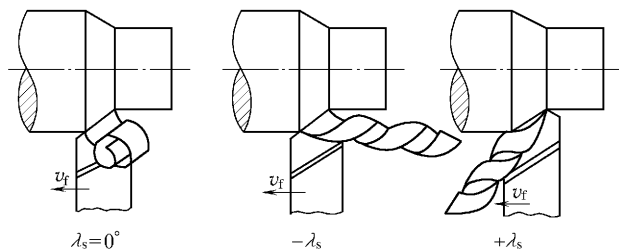


图 2.37 刃倾角对切屑流向的影响

③ 影响切削刃的锋利性 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时,使切削刃实际钝圆半径变小,因而刃口变锋利。大刃倾角切削时,可以切下很薄的一层金属,这对于微量精车、精镗和精刨是十分有利的。

④ 影响切入切出的平稳性 当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时,切削刃同时切入切出,冲击力大;当 $\lambda_s \neq 0$ 时,切削刃逐渐切入工件,冲击小。刃倾角越大,切削刃越长,切削过程越平稳。对于大螺旋角($\lambda_s = 60^\circ \sim 70^\circ$)圆柱铣刀,由于工作平稳,排屑顺利,切削刃锋利,故刀具使用寿命较长,加工表面质量好。

⑤ 影响切削刃的工作长度 当 $\lambda_s < 0^\circ$ 时,切削刃实际工作长度加大,切削刃单位长度上的切削负荷却减小,有利于延长刀具耐用度。

⑥ 影响切削分力之间的比值 以车外圆为例,当 λ_s 从 $+10^\circ$ 变化到 -45° 时, F_f 下降为 $1/3$, F_p 增大到 2 倍, F_c 基本不变。负的刃倾角使 F_p 增大,造成工件弯曲变形和导致振动。

2) 合理刃倾角值的选择

① 粗车钢料和灰铸铁取 $\lambda_s = 0^\circ \sim -5^\circ$;精车时取 $\lambda_s = 0^\circ \sim +5^\circ$;有冲击载荷时取 $\lambda_s = -5^\circ \sim -15^\circ$;冲击特别大时取 $\lambda_s = -30^\circ \sim -45^\circ$ 。

② 强力切削时,取 $\lambda_s = -10^\circ \sim -20^\circ$ 。

③ 车削淬硬钢时,取 $\lambda_s = -5^\circ \sim -12^\circ$ 。

- ④ 工艺系统刚性不足时,尽量不用负刃倾角。
- ⑤ 微量精车、精镗、精刨时,取 $\lambda_s = 45^\circ \sim 75^\circ$ 。
- ⑥ 金刚石和立方氮化硼车刀,取 $\lambda_s = 0^\circ \sim -5^\circ$ 。

2.6.2 切削用量的选择

1. 选择切削用量的原则

选择合理的切削用量是切削加工中十分重要的环节。所谓合理的切削用量是指充分利用刀具的切削性能和机床性能,在保证质量的前提下,获得高的生产率和低的加工成本的切削用量。选择合理的切削用量必须联系合理的刀具耐用度。

要提高生产效率,应尽量增大切削用量 a_p 、 f 和 v_c 。事实上,在提高切削用量时会受到切削力、切削功率、刀具耐用度和加工表面粗糙度等因素的限制。因此,确定切削用量的原则应该是,能达到零件的质量要求,并在工艺系统强度和刚度允许条件下充分利用机床功率和发挥刀具切削性能,选取一组最大的切削用量。

选择切削用量要根据不同的加工条件和加工要求,又必须考虑到切削用量各参数对切削过程规律的不同影响。可从以下几个方面分析:

1) 生产效率 切削用量 a_p 、 f 和 v_c 增大,切削时间减小。当加工余量一定时,若背吃刀量小,可使走刀次数增多,切削时间成倍增加,生产效率成倍降低。所以,一般情况下,特别是粗加工时,应尽量优先增大 a_p ,以求一次走刀切除全部加工余量。

2) 机床功率 切削用量对功率的影响主要是由于切削力的变化而引起的。背吃刀量 a_p 增大时,切削功率成正比增加,而增大进给量 f 使切削力增加较少,功率增加也较少。所以,在粗加工时尽量增大 f 是合理的。

3) 刀具耐用度 在切削用量中,对刀具耐用度影响最大的是切削速度 v_c ,其次是进给量 f ,影响最小的是背吃刀量 a_p 。过高的切削速度和较大的进给量,会由于经常磨刀、换刀而增加费用,提高加工成本。可见,优先增大背吃刀量 a_p 不只是达到高的生产率,相对 f 和 v_c 来说,对发挥刀具切削性能、降低加工成本也是有利的。

4) 表面粗糙度 这是在半精加工、精加工时确定切削用量应考虑的主要原则。在理想的条件下,提高切削速度 v_c 能降低表面粗糙度值。而在一般条件下,提高背吃刀量 a_p 对切削过程产生的积屑瘤、鳞刺、冷硬和残余应力的影响并不显著,故提高背吃刀量 a_p 对表面粗糙度影响较小。所以,加工表面粗糙度主要限制的是进给量 f 的提高。

由此可见,增大 a_p 比增大 f 更有利于提高生产率。

综上所述,选择切削用量是要选择切削用量三要素的最佳组合。选择切削用量的基本原则是:首先选择一个尽量大的背吃刀量 a_p ,其次根据机床进给动力允许条件或被加工表面粗糙度的要求,选择一个较大的进给量 f ,最后根据已确定的 a_p 和 f ,并在刀具耐用度和机床功率允许条件下选择一个合理的切削速度 v_c 。

2. 切削用量的选择方法

粗加工的切削用量,一般以提高生产效率为主,也应考虑经济性和加工成本。半精加工和精加工的切削用量,应以保证加工质量为前提,并兼顾切削效率、经济性和加工成本。粗车、半精车和精车切削用量的具体选择方法如下:

(1) 粗加工时切削用量的选择

1) 背吃刀量 a_p 应根据加工余量和工艺系统的刚性而定。除了留给下道工序的余量外,其余的余量尽可能一次粗车切除,以使走刀次数最少。当粗车余量 Δ 太大或加工的工艺系统刚性较差时,加工余量 Δ 可分两次或数次走刀切除。通常,第一次走刀的背吃刀量 $a_{p1} = \left(\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}\right)\Delta$,第二次走刀的背吃刀量 $a_{p2} = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}\right)\Delta$ 。

2) 进给量 f 主要根据工艺系统的刚性和强度而定。生产实际中多采用查表法确定合理的进给量。根据工件材料、车刀刀杆的尺寸、工件直径及已确定的背吃刀量来选择,若工艺系统刚性好可选用较大的进给量,反之应适当减小进给量。

当背吃刀量 a_p 确定后,选出进给量 f 就能计算切削力。此时,应根据计算的切削力校验机床进给机构的强度。

3) 切削速度 v_c 当背吃刀量 a_p 和进给量 f 确定以后,可在保证刀具耐用度的前提下,计算出刀具耐用度 T 所允许的切削速度 v_T [式(2.15)]。也可以在有关手册资料中选取切削速度。

当切削速度 v_c 确定以后,应按 $n = 1000v_c/(\pi d)$ 换算成转速 n ,并根据机床主轴转速表,确定实际主轴转速 n_e ,最后再确定出实际的切削速度 v_{ce} 。

按上述方法确定的切削用量,还应校核切削功率是否小于机床的许用功率。若切削功率超过了机床的许用功率,则应首先降低切削速度 v_c 。

根据式(2.9)和式(2.10),机床功率所允许的切削速度为:

$$v_c \leq \frac{P_E \cdot \eta \times 6 \times 10^4}{F_c}$$

式中 P_E ——机床电动机功率 kW;

F_c ——切削力 N;

η ——机床传动效率,一般 $\eta = 0.75 \sim 0.85$ 。

(2) 半精加工、精加工时切削用量的选择

1) 背吃刀量 a_p 半精加工的余量很小,约在 $1 \sim 2 \text{ mm}$,精加工的余量更小。半精加工、精加工时背吃刀量 a_p 的选择,原则上取一次切除的余量数。当使用硬质合金刀具时,由于刀尖圆弧半径与刃口圆弧半径的挤压和摩擦作用,背吃刀量不宜过小,一般大于 0.5 mm 。

2) 进给量 f 半精加工、精加工的背吃刀量 a_p 较小,产生的切削力不大,故增大进给量对加工工艺系统的强度和刚度影响较小,所以增大进给量主要受到表面粗糙度的限制。在已知工件材料、刀尖圆弧半径和预先初估切削速度的条件下,应根据加工要求达到的表面粗糙度,一般可通过手册资料来选定进给量 f 。

3) 切削速度 v_c 半精加工、精加工时的背吃刀量 a_p 和进给量 f 均较小,切削力对工艺系统刚度和强度的影响很小,消耗的功率较少,故切削速度主要受刀具耐用度的限制。当背吃刀量 a_p 和进给量 f 确定以后,则同样在保证刀具耐用度的前提下,计算出刀具耐用度 T 所允许的切削速度 v_c [式(2.15)]。也可以在有关手册资料中选取切削速度。

当切削速度 v_c 确定以后,同样应换算成转速 n ,并根据机床主轴转速表确定实际主轴转速 n_e ,最后再确定出实际的切削速度 v_{ce} 。

精加工时的切削速度应尽量避免避开积屑瘤和鳞刺产生的区域,一般硬质合金刀具采用高速切削,其切削速度 v_c 一般要在 $80 \sim 100 \text{ m/min}$ 以上,高速钢刀具一般采用低速加工,其切削速度 v_c 一般在 $30 \sim 80 \text{ m/min}$ 之间。

思考题与习题

- 2.1 切削过程的三个变形区各有何特点?它们之间有什么关联?
- 2.2 金属切削的变形过程有何特征?用什么参数来表示和比较?
- 2.3 分析积屑瘤产生的原因及其对加工的影响,生产中最有效的控制积屑瘤的手段是什么?
- 2.4 试述工件材料、刀具前角和切削用量对切屑变形影响的规律,并说明生产中如何利用这些规律来提高生产率?
- 2.5 车削时切削合力为什么常分解为三个相互垂直的分力来分析?试说明这三个分力的作用。
- 2.6 背吃刀量和进给量对切削力的影响有何不同,为什么?
- 2.7 试述主偏角 κ_r 对 F_p 、 F_f 和 F_c 的影响规律。
- 2.8 切削热是如何产生和传出的?仅从切削热产生的多少能否说明切削区温度的高低?
- 2.9 切削温度的含义是什么?它在刀具上是如何分布的?它的分布和

个变形区有何联系？

2.10 背吃刀量和进给量对切削力和切削温度的影响是否一样？为什么？如何运用这一规律指导生产实践？

2.11 增大前角可以使切削温度降低的原因是什么？是不是前角越大切削温度越低？

2.12 常用的切削液有哪几种？主要成分是什么？各适用于何种场合？

2.13 试比较磨削和单刃刀具切削的异同。

2.14 简述磨削过程的特点。

2.15 试说明 θ_A 、 θ_{dot} 和工作温升的增大对磨削加工质量的影响。

2.16 刀具的正常磨损过程可分为几个阶段？各阶段的特点是什么？刀具使用时磨损应限制在哪一阶段？

2.17 简述刀具磨损的各种原因。高速钢刀具、硬质合金刀具在不同的切削速度条件下，各产生什么原因引起的磨损？

2.18 何谓刀具磨钝标准？试述制定刀具磨钝标准的原则。

2.19 什么叫刀具耐用度和刀具寿命？刀具耐用度和磨钝标准有什么关系？磨钝标准确定后，刀具耐用度是否就确定了？为什么？

2.20 何谓最大生产率耐用度和经济耐用度？粗加工和精加工所选用的刀具耐用度是否相同，为什么？

2.21 讲述前角、后角、主偏角、副偏角和刃倾角的功用及其合理值的选择原则。

2.22 选择切削用量的原则是什么？从刀具耐用度出发时，按什么顺序选择切削用量？从机床动力出发时，按什么顺序选择切削用量？为什么？

2.23 粗加工时进给量的选择受哪些因素限制？当进给量受到表面粗糙度限制时，用什么办法能增加进给量，而同时保证表面粗糙度要求？

2.24 如果选完切削用量后发现所需的功率超过机床功率，应如何解决？

3.1 概述

3.1.1 机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成的。每一个工序又可分为若干个安装、工位、工步和走刀。

1. 工序

工序是指一个或一组工人,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。

划分工序的依据是“三不变,一连续”。工人(操作者)、工作地(机床)和工件(加工对象)三个要素中任一要素的变更即构成新的工序,连续是指工序内对一个工件的加工内容必须连续完成,否则即构成另一工序。例如图 3.1 所示的阶梯轴,当单件小批生产时,其加工工艺及工序划分如表

3.1 所示。当中批生产时,其工序划分如表 3.2 所示。

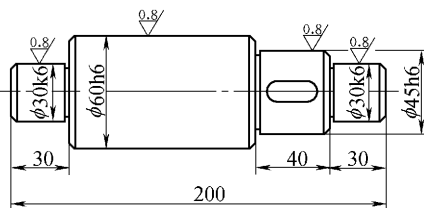


图 3.1 阶梯轴简图

工序是工艺过程的基本单元,又是生产计划和成本核算的基本单元。

表 3.1 阶梯轴加工工艺过程(单件小批生产)

工 序 号	工 序 内 容	设 备
10	车端面、钻中心孔、车全部外圆、车槽与倒角	普通车床
20	铣键槽、去毛刺	立式铣床
30	磨外圆	外圆磨床

表 3.2 阶梯轴加工工艺(中批生产)

工 序 号	工 序 内 容	设 备
10	铣端面、钻中心孔	铣端面钻中心孔机床
20	车外圆、车槽与倒角	普通车床
30	铣键槽	立式铣床
40	去毛刺	钳工台
50	磨外圆	外圆磨床

2. 安装

工件在加工之前,在机床或夹具上先占据一正确的位置(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部分工序内容称为安装。在一道工序中,工件可能只装夹一次,也可能装夹几次,例如表 3.2 中,工序 30 中一次装夹即可加工出键槽,而工序 20 中,为了车出全部外圆至少需要两次装夹。装夹次数多,既增加装夹误差又增加装夹辅助时间,故加工中应尽可能减少装夹次数。

3. 工位

为减少工序中的装夹次数,常常采用各种移动或转动工作台、回转夹具或移位夹具,使工件在一次装夹中可先后在机床上占有不同的位置,进行连续加工。为了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。如图 3.2 所示,在三轴钻床上利用回转工作台在一次安装中可连续完成每个工件的装卸、钻孔、扩孔和铰孔四个工位的加工。

采用多工位加工,可以提高生产率和保证加工表面间的相互位置精度。

4. 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。为了便于分析和描述比较复杂的工序,更好地组织生产和计算工时,工序还可以进一步划分为工步。工步是指加工表面(或装配时的连接表面)和加工(或装配)工具不变的条件下所完成的那部分工艺过程。一个工序可以包括几个工步,也可以只包括一个工步。例如表 3.2 中,工序 20 包括车各外圆表面、车槽及倒角等较多工步,而工序 30 只包括铣键槽一个工步。

构成工步的任一因素(加工表面和刀具)改变后,则构成另一个工步。但是,对于一次安装中连续进行的若干相同的工步,通常算作一个工步。如图 3.3

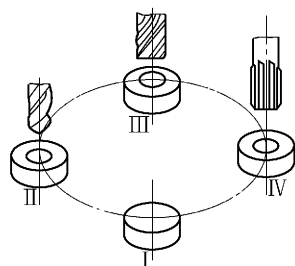


图 3.2 多工位加工

工位 I—装卸工件 工位 II—钻孔
工位 III—扩孔 工位 IV—铰孔

所示,用一把钻头连续钻削四个 $\phi 15$ 的孔,可写成一个工步——钻4- $\phi 15$ 孔。

为了提高生产效率,用几把不同刀具或复合刀具同时加工一个零件几个表面的工步,也可看作是一个工步,称为复合工步,如图3.4所示。

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称为一次走刀。一个工步可包括一次或几次走刀。

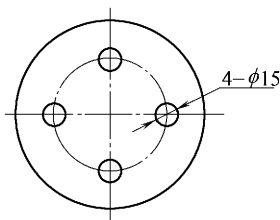


图 3.3 加工四个相同表面的工步

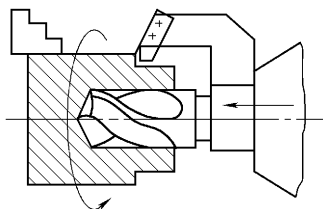


图 3.4 复合工步

3.1.2 工艺规程

工艺规程是规定产品或零部件制造工艺过程和操作方法的工艺文件。它是在具体的生产条件下,把较为合理的工艺过程 and 操作方法,按规定的形式书写成工艺文件,经审批后用来指导生产的。

1. 工艺规程的作用

工艺过程一般包括的内容有:零件加工的工艺路线、各工序的具体加工内容、切削用量、时间定额以及所采用的设备和工艺装备等。因此,工艺规程具有以下几方面的作用:

(1) 工艺规程是指导生产的主要技术文件

合理的工艺规程是在总结广大工人和技术人员的实践经验基础上,依据工艺理论和必要的工艺试验,又结合具体的生产条件制定的,并在实践过程中不断地加以改进和完善。按照工艺规程进行生产,可以稳定地保证产品质量和获得较高的生产效率和经济效益。因此,生产中应严格地执行既定的工艺规程。但是,工艺规程也不是固定不变的,它可根据生产实际情况进行修改,但必须要有严格的审批手续。

(2) 工艺规程是生产组织和生产管理工作的依据

从工艺规程所涉及的内容可以看出,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、机床负荷的调整、专用工艺装备的设计和制造、生产计划的制定、劳动力的组织以及生产成本的核算等,都是以工艺规程作为基本依据的。

(3) 工艺规程是新建、扩建或改建工厂及车间的基本资料

在新建、扩建或改建工厂及车间时,只有根据工艺规程和生产纲领,才能正确地确定生产所需的机床和其他设备的种类、规格和数量,车间的面积,机床的布置,生产工人的工种、技术等级及数量,以及辅助部门的安排等。

2. 工艺规程的设计原则

工艺规程的设计原则是:优质、高效、低成本。即在保证产品质量的前提下,以最少的劳动量和最低的成本,在规定的时间内,可靠地加工出符合图样及技术要求的零件。在设计工艺规程时,应注意以下问题:

1) 技术上的先进性 在进行工艺规程设计时,要全面了解国内外本行业工艺技术的发展水平,积极采用适用的先进工艺和装备,使所设计的工艺规程在一定时间内保持相对的稳定性和先进性,而不至于经常做大的修改。

2) 经济上的合理性 在采用高生产率的设备与工艺装备时要注意与生产纲领相适应。对于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,应进行经济性分析和对比,从中选出最经济合理的方案。

3) 良好的劳动条件 设计工艺规程时要注意保证生产安全,尽量减轻工人的劳动强度,避免环境污染。在工艺方案上可注意采用机械化或自动化措施,将工人从某些繁重的体力劳动中解放出来。

3. 工艺规程设计所需的原始资料

设计工艺规程通常需要下列原始资料:① 产品的全套装配图和零件工作图。② 产品验收的质量标准。③ 产品的生产纲领。④ 毛坯资料,包括各种毛坯制造方法的技术经济特征,各种钢型材的品种和规格,毛坯图等;在无毛坯图的情况下,需实地了解毛坯的形状、尺寸及机械性能等。⑤ 现场的生产条件,要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,工人的技术水平以及专用设备和工艺装备的制造能力等。⑥ 工艺规程设计时应尽可能多地了解国内外相应生产技术的发展情况,同时还要结合本厂实际,合理地引进、采用新技术、新工艺。⑦ 有关的工艺手册及图册。

3.2 机械加工工艺规程设计

3.2.1 零件工艺分析

设计工艺规程时,首先应分析产品的零件图和所在部件的装配图,熟悉产品的用途、性能及工作条件,并找出其主要的技术要求和规定它的依据,然后对零件图进行工艺分析。工艺分析主要有以下两个方面内容:

1. 零件技术要求分析

零件的技术要求包括下列几个方面:① 加工表面的尺寸精度;② 主要加工

表面的形状精度 ;③ 主要加工表面之间的相互位置精度 ;④ 各加工表面粗糙度以及表面质量方面的其他要求 ;⑤ 热处理要求及其他技术要求(如动平衡等)。

对零件图具体的技术要求分析内容有 :

1) 零件的视图、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 ,找出主要技术要求和加工关键 ,以便制订相应的加工工艺。

2) 零件图所规定的加工要求是否合理 如图 3.5 所示的汽车钢板弹簧吊耳 ,使用时钢板弹簧与吊耳的内侧面是不接触的 ,所以吊耳内侧面的表面粗糙度值 ,可由原设计要求的 $Ra3.2 \mu\text{m}$ 增大到 $Ra12.5 \mu\text{m}$,这样就可以在铣削时增大进给量 ,以提高生产率。

3) 零件的选材是否恰当 ,热处理要求是否合理 如图 3.6 所示的方头销 ,方头部分要求淬火硬度为 $55 \sim 60 \text{ HRC}$,所选材料为 T8A ,零件上有一个小孔 $\phi 2\text{H7}$ 要求装配时配作。由于零件全长只有 15 mm ,方头部分长为 4.5 mm ,所以用 T8A 材料局部淬火势必使全长均被淬硬 ,以至装配时 $\phi 2\text{H7}$ 无法加工。若材料改用 20Cr 钢 ,局部渗碳淬火 ,便能解决问题。

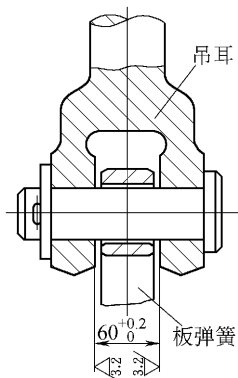


图 3.5 汽车钢板弹簧吊耳

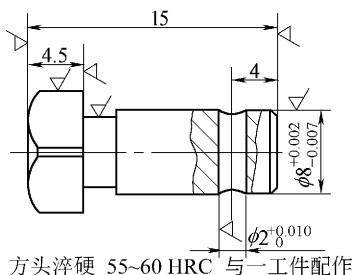


图 3.6 方头销

2. 零件结构及其工艺性分析

对零件的结构分析主要应注意以下问题 :

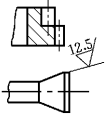
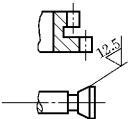
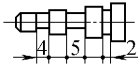
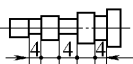
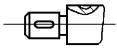
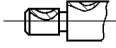
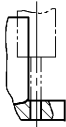
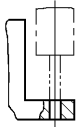
① 机械零件的结构 ,由于使用要求不同而具有各种形状和尺寸。但是 ,如果从形体上加以分析 ,各种零件都是由一些基本的表面和成形表面组成的。基本表面有内外圆柱表面、圆锥表面和平面等 ;成形表面主要有螺旋面、渐开线齿形表面及其他一些成形表面等。在研究具体零件的结构特点时 ,首先要分析该零件是由哪些表面组成的 ,因为表面形状是选择加工方法的基本因素。例如 ,外圆表面一般是由车削和磨削加工出来 ;内孔则多通过钻、扩、铰、拉、镗和磨削等加工方法获得。除表面形状外 ,尺寸对工艺也有重要的影响。以内孔为例 ,大孔与小孔、深孔与浅孔在工艺上均有不同的特点。

② 在分析零件的结构时,不仅要注意零件的各个构成表面本身的特征,而且还要注意这些表面的不同组合,正是这些不同的组合才形成零件结构上的特点。例如以内外圆为主的表面,既可组成轴类、盘类零件,也可组成套筒类零件。对于套筒类零件,既可是一般的轴套,也可以是形状复杂或刚性很差的薄壁套筒。显然,上述不同结构的零件在工艺上往往有着较大的差异。在机械制造中,通常按照零件结构和加工工艺过程的相似性,将各种零件大致分为轴类零件、套筒类零件、盘环类零件、叉架类零件以及箱体等。

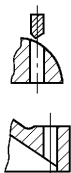

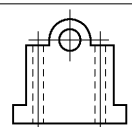
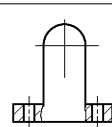
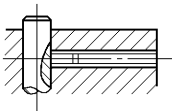
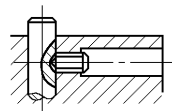
另外,特别要注意分析零件的刚度情况,对刚度特别薄弱的部位,在加工时要注意采取相应的工艺措施以防止受力变形。同时还要注意分析零件刚度的方向,例如套筒类零件的轴向刚度大于径向刚度,所以夹紧时常将径向夹紧改为轴向夹紧。

③ 在研究零件的结构时,还要注意审查零件的结构工艺性。零件的结构工艺性是指零件的结构在保证使用要求的前提下,是否能以较高的生产率和最低的成本方便地制造出来的特性。使用性能相同而结构不同的两个零件,它们的加工方法和制造成本可能有很大的差别。在进行零件的结构分析时应考虑到加工时的装夹、对刀、测量、切削效率等。结构工艺性不好会使加工困难,浪费工时,浪费材料,甚至无法加工。表 3.3 列出了零件机械加工结构工艺性对比的一些实例。

表 3.3 零件机械加工结构工艺性的对比

	A 结构 结构工艺性差	B 结构 结构工艺性好	说 明
1			B 结构留有退刀槽,便于进行加工,并能减少刀具和砂轮的磨损
2			B 结构采用相同的槽宽,可减少刀具种类和换刀时间
3			由于 B 结构的键槽的方位相同,就可在一次安装中进行加工,提高了生产率
4			A 结构不便引进刀具,难以实现孔的加工

续表

	A 结构 结构工艺性差	B 结构 结构工艺性好	说 明
5			B 结构可避免钻头钻入和钻出时因工件表面倾斜而造成引偏或断钻
6			B 结构节省材料,减小了质量,还避免了深孔加工
7			B 结构可减少深孔的螺纹加工

3.2.2 毛坯的选择

毛坯是根据零件(或产品)所要求的形状、工艺尺寸等而制成的供进一步加工用的生产对象。毛坯的种类、形状、尺寸及精度对机械加工工艺过程、产品质量、材料消耗和生产成本有着直接影响。因此,在设计工艺规程时必须正确地选择毛坯的种类和确定毛坯的形状。

1. 毛坯种类的选择

机械加工中常用的毛坯种类有:铸件、锻件、焊接件、型材、冲压件、粉末冶金件和工程塑料件等。根据零件的材料和对材料力学性能的要求,零件结构形状和尺寸大小,零件的生产纲领和现场生产条件以及利用新工艺、新技术的可能性等因素,可参考表 3.4 确定毛坯的种类。

表 3.4 机械制造业常用毛坯种类及其特点

毛坯种类	毛坯制造方法	材 料	形 状 复杂性	公差等级	特点及适应的 生产类型
型材	热轧	钢、有色金属 (棒、管、板、异形等)	简单	IT11、IT12	常用作轴、套类零件及焊接毛坯分件,冷轧坯尺寸精度高但价格昂贵,多用于自动机加工件坯料
	冷轧(拉)			IT9、IT10	

续表

毛坯种类	毛坯制造方法	材 料	形 状 复杂性	公差等级	特点及适应的 生产类型	
铸 件	木模手工造型	铸铁、铸钢 和有色金属	复 杂	IT14、IT12	单件小批生产	铸造毛 坯可获得 复 杂 形 状,其 中 灰铸铁因 其成本低 廉,耐 磨 性和吸振 性好而广 泛用作机 架、箱 体 类零件毛 坯
	木模机器造型			~ IT12	成批生产	
	金属模机器造型			~ IT12	大批大量生产	
	离心铸造	有色金属、 部分黑色金属	回转体	IT14 ~ IT12	成批或大批大 量生产	
	压铸	有色金属	可复杂	IT9、IT10	大批大量生产	
	熔模铸造	铸钢、铸铁	复 杂	IT10、IT11	成批以上生产	
	失腊铸造	铸铁、有色金属		IT9、IT10	大批大量生产	
锻件	自由锻造	钢	简单	IT14 ~ IT12	单件小批生产	金相组 织纤维化 且走向合 理 零件机 械强度高
	模锻		较复杂	IT11、IT12	大批大量生产	
	精密模锻			IT10、IT11		
冲压件	板料加压	钢、有色金属	较复杂	IT8、IT9	大批大量生产	
粉末 冶金件	粉末冶金	铁、铜、铝 基材料	较复杂	IT7、IT8	机械加工余量极小或无 机械加工余量 适用于大批 大量生产	
	粉末冶金热模锻			IT6、IT7		
焊接件	普通焊接	铁、铜、铝 基材料	较复杂	IT12、IT13	单件小批或成批生产 因 其生产周期短 不需准备模 具 刚性好及材料省而常用 以代替铸件	
	精密焊接			IT10、IT11		
工程 塑料件	注射成型 吹塑成型 精密模压	工程塑料	复 杂	IT9、IT10	大批大量生产	

2. 确定毛坯的形状和尺寸

现代机械制造发展的趋势之一是精化毛坯,使其形状和尺寸尽量与零件接近,从而进行少切屑加工甚至无屑加工。但由于毛坯制造技术和成本的限制,产品零件的加工精度和表面质量的要求越来越高,所以毛坯的某些表面仍需留有一定的加工余量,以便通过机械加工达到零件的技术要求。毛坯制造尺寸与零件相应尺寸的差值称为毛坯加工余量,毛坯制造尺寸的公差称为毛坯公差,二者都与毛坯的制造方法有关,生产中可参阅有关的工艺手册来选取。毛坯的加工

余量确定后,其形状和尺寸的确定,还要考虑到毛坯制造、机械加工及热处理等工艺因素的影响。下面仅从机械加工工艺角度来分析一下,在确定毛坯形状和尺寸时应注意的几个问题。

① 为使加工时工件安装稳定,有些铸件毛坯需要铸出工艺凸台,如图 3.7 所示。工艺凸台一般在零件加工后再行切除。

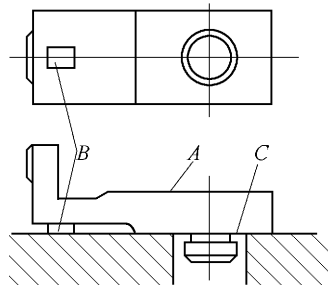


图 3.7 具有工艺凸台的刀架毛坯

A—加工面 B—工艺搭子 C—定位面

② 为了保证零件的加工质量和加工方便,常将一些零件先做成一个整体毛坯,加工到一定阶段后再切割分离。对于半圆形的零件一般应合并成一个整圆的毛坯;对于一些小的、薄的零件(如轴套、垫圈和螺母等),可以将若干零件合成一件毛坯,待加工到一定阶段后再切割分离。图 3.8 所示车床进给系统中的开合螺母外壳,就是将其毛坯做成整体,待加工到一定阶段后再切割分离。

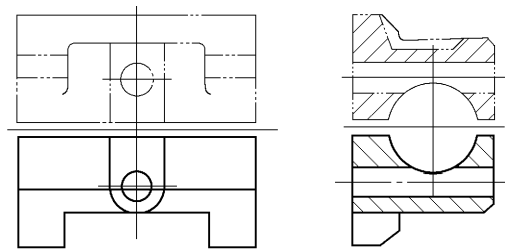


图 3.8 车床开合螺母外壳简图

3.2.3 定位基准选择

1. 基准的概念

所谓基准就是在零件上用以确定其他点、线、面的位置所依据的点、线、面。基准根据其功用不同可分为设计基准和工艺基准两大类,前者用在产品零件的设计图上,后者用在机械制造的工艺过程中。

(1) 设计基准

在零件图上用以确定其他点、线、面位置的基准称为设计基准。对于距离尺寸精度,基准位于尺寸线的起点;对于相互位置精度,基准就是基准符号所处的位置。

例如,在图 3.9a) 所示的钻套,轴线 OO 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 端面跳动的基准。同样,图 3.9b) 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,例如表面的几何中心、对称线、对称平面等。

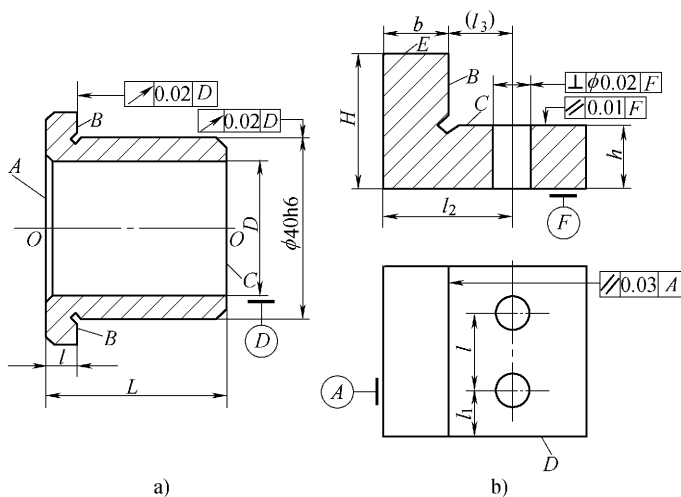


图 3.9 基准分析示例

(2) 工艺基准

零件在工艺过程中所采用的基准称为工艺基准。工艺基准按用途又可分为:

1) 工序基准 在工序图上用来标注本工序被加工表面加工后的尺寸、位置的基准称为工序基准。如图 3.10a) 的零件,加工端面 B 时的工序图为图 3.10b), 工序尺寸为 l_4 , 则工序基准为端面 A , 而设计基准是端面 C 。

2) 定位基准 加工时,使工件在机床或夹具中占据一正确位置所用的基准称为定位基准。例如加工图 3.9b) 中的孔时,底面 F 、侧面 A 、 D 均应作定位基准。

定位基准除了是工件的实际表面外,也可以是表面的几何中心、对称线或对称面,但必须由相应的实际表面来体现,这些实际表面称为定位基面。工件以回

转面与定位元件接触时,工件轴线为定位基准,其轴心线由回转面来体现,回转面即为定位基面。如图 3.10 c) 所示,加工 E 面时工件是以外圆 ϕd 放在 V 形块 1 上定位,则其定位基准就是外圆 ϕd 的轴心线,定位基面是 ϕd 的外圆表面。又如将图 3.9 a) 零件的内孔套在心轴上加工 $\phi 40h6$ 外圆时,内孔中心即为定位基准,内孔表面即为定位基面。

3) 测量基准 检验时用以测量已加工表面尺寸及位置的基准称为测量基准。一般情况下常采用设计基准为测量基准。如图 3.10 a) 中,当加工端面 A 、 B 并保证尺寸 l_1 、 l_2 时,测量基准就是它的设计基准端面 C 。但当以设计基准为测量基准不方便或不可能时,也可采用其他表面为测量基准。如图 3.10 d) 中,表面 E 的设计基准为中心 O (尺寸 l_3),而测量基准为外圆 ϕD 的母线 F ,则此时测量尺寸为 L 。

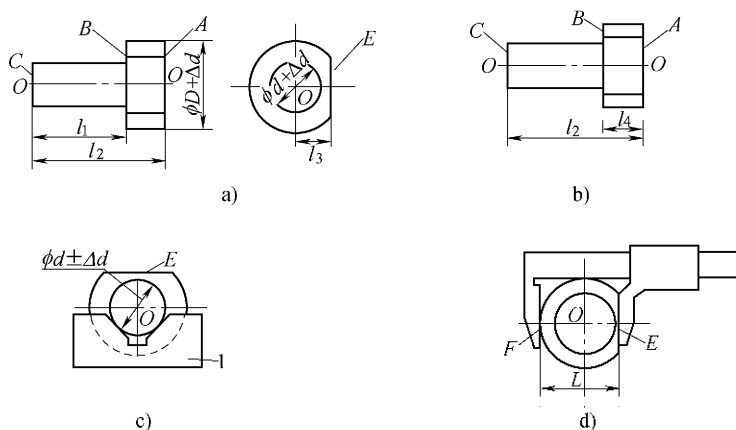


图 3.10 工艺基准分析示例

4) 装配基准 在装配时,用来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。如齿轮装在轴上,内孔是它的装配基准;轴装在箱体孔上,则支承轴颈的轴线是装配基准;主轴箱体装在床身上,则箱体的底面是装配基准。

2. 定位基准的选择

定位基准有粗基准与精基准之分。在加工的起始工序中,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,称为精基准。

(1) 精基准的选择

选择精基准主要考虑应可靠地保证主要加工表面间的相互位置精度并使工件装夹方便、准确、稳定、可靠。因此选择精基准时一般应遵循以下原则:

1) 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作为定位基准,这一原则称为“基准重合”原则。采用基准重合原则,可以直接保证设计精度,避免基准不重合误差。如图 3.11a)所示为一零件简图, A 面是 B 面的设计基准, B 面是 C 面的设计基准。在用调整法加工 B 面和 C 面时,先以 A 面定位加工 B 面,符合基准重合原则。然后再加工 C 面,此时有两种不同方案。

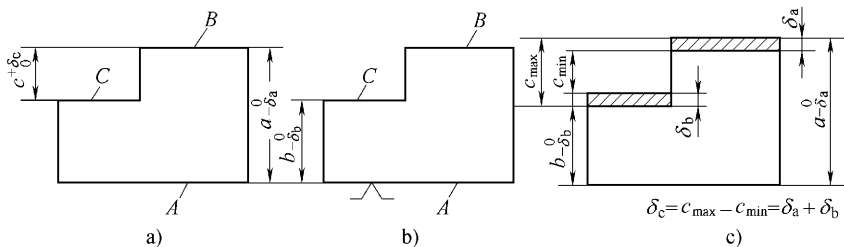


图 3.11 定位基准选择

第一种方案是以 B 面定位加工 C 面,直接保证尺寸 c 。这时定位基准与设计基准重合,影响加工精度的只有本工序的加工误差,只要把此误差控制在 δ_c 范围以内,就可以保证加工精度要求。但这种方案定位不方便且不稳固。

第二种方案是以 A 面定位加工 C 面,直接保证尺寸 b ,如图 3.11b)所示。这时定位基准与设计基准不重合,设计尺寸 c 是由尺寸 a 和尺寸 b 间接保证的,它取决于尺寸 a 和 b 的加工精度。影响尺寸 c 的精度,除了本工序的加工误差 δ_b 以外,还与前工序加工尺寸 a 的加工误差 δ_a 有关。很明显,要保证尺寸 c 的精度,必须控制尺寸 b 和 a 的加工误差,使两者之和不超过 δ_c ,即 $\delta_b + \delta_a \leq \delta_c$ 。其中,误差 δ_a 是由于定位基准与设计基准不重合引起的,称为基准不重合误差,其数值等于定位基准与设计基准之间位置尺寸的公差。当 δ_c 为一定值时,由于基准不重合误差(即 δ_a)的存在,势必要减小 δ_b 值。故采用这种方案,虽定位比较方便,但增加了本工序的加工难度。因此在选择定位基准时,应遵守“基准重合”原则,即尽可能选设计基准为定位基准。应当指出,基准重合原则对于保证表面间的相互位置精度(如平行度、垂直度、同轴度等)亦完全适用。

2) 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他各表面时,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。采用基准统一原则可使各个工序所用的夹具统一,可减少设计和制造夹具的时间和费用,提高生产率。另外,多数表面采用同一组定位基准进行加工,可避免因基准转换过多而带来的误差,有利于保证各表面之间的相互位置精度。例如,轴类零件加工过程中大多数工序采用两个顶尖孔作为定位基准,齿轮加工中大部分工序以基准端面及内孔作为定位基准,箱体类零件加工过程中大多数

工序采用底面和底面上相距较远的两个孔作为定位基准。

3) 保证工件定位稳定准确、夹紧可靠、夹具结构简单、操作方便的原则 一般应采用面积大、精度较高和表面粗糙度值较低的表面为精基准。例如加工箱体类和支架类零件时常用底面为精基准,因为底面一般面积大、精度高、装夹稳定方便,设计夹具也较简单。又如图 3.11a)所示零件,当加工表面 C 时,若采用“基准重合”原则,选择 B 面为定位基准,工件定位不稳,装夹不便,夹具结构也较复杂。因此,在加工精度允许的条件下,可选择底面 A 为定位基准,此时定位稳定,装夹方便,夹具结构也简单。

4) 互为基准原则 为了获得均匀的加工余量及较高的相互位置精度,可采用互为基准、反复加工的原则。例如,加工精密齿轮,当高频淬火把齿面淬硬后,需进行磨齿,因其淬硬层较薄,所以磨削余量应小而均匀,这样就得先以齿形分度圆为基准磨内孔,再以内孔为基准磨齿形面,以保证齿面余量均匀,且孔与齿面间的相互位置精度也高。加工套筒类零件,当内、外圆柱表面的同轴度要求较高时,先以孔定位加工外圆,再以外圆定位加工孔,反复加工几次就可大大提高同轴度。

5) 自为基准原则 当精加工或光整加工工序要求余量小而均匀时,可选择加工表面本身为精基准,以保证加工质量和提高生产率。如磨削车床床身导轨面时,为了保证导轨面上耐磨层的一定厚度和均匀性,可用导轨面自身找正定位来进行磨削。浮动镗刀镗孔、圆拉刀拉孔、珩磨及无心磨床磨轴的外圆表面,都是采用自为基准原则进行零件表面加工。应用这种精基准加工工件,只能提高加工表面的尺寸精度,不能提高表面间的相互位置精度,后者应由先行工序保证。

工件定位时,为了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,这些定位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,人为地制造一种定位基准,如图 3.7 所示零件上的工艺凸台和轴类零件加工的中心孔。这些表面不是零件上的工作表面,只是由于工艺需要而作出的,这种基准称为辅助基准。此外,零件上的某些次要表面(非配合表面),因工艺上选作定位基准而要提高它的加工精度和表面质量以便定位时使用,这种表面也称为辅助基准。例如,箱体零件加工中,为实现基准统一,采用底面与底面上的两个紧固孔定位,为此必须提高两个紧固孔的中心距离精度和本身的尺寸精度。

(2) 粗基准选择

选择粗基准,主要是为了可靠方便地加工出精基准来。具体选择时主要考虑以下原则:

1) 为了保证不加工表面与加工表面之间的相互位置关系(壁厚均匀、对称,

间隙大小等),应首先选择不加工表面作粗基准,若零件上有多个不加工表面,则应选择其中与加工面相对位置关系要求较高的不加工面为粗基准。例如如图 3.12a)所示套类零件,为保证零件加工后壁厚均匀,应选择不加工的外圆面 1 作为粗基准。

2) 为了使定位稳定、可靠,夹具结构简单,操作方便,作为粗基准的表面应不是分型面,应尽可能平整光洁,且有足够大的尺寸,无浇口、冒口或飞边、毛刺等缺陷,必要时,应对毛坯加工提出修光打磨的要求。

3) 对于具有较多加工表面的工件,粗基准选择时,应考虑合理地分配各表面加工余量。

① 应保证各加工表面有足够的余量。为满足这个要求,应选择毛坯余量最小的表面作粗基准。如图 3.12b)所示的阶梯轴, $\phi 108$ mm 外圆表面的余量比 $\phi 55$ mm 外圆表面大,应选择 $\phi 55$ mm 外圆表面作粗基准,否则会造成加工余量的不足。

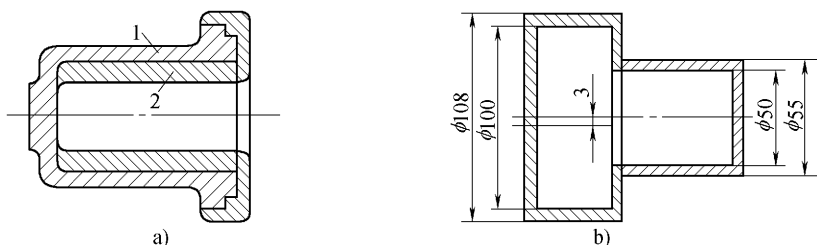


图 3.12 粗基准的选择

② 对于某些重要表面(如导轨和重要孔等),为了尽可能使其加工余量均匀,应选择该重要表面的毛坯面作粗基准。如图 3.13 所示的车床床身,导轨面是重要表面,要求硬度高且均匀,希望加工时只切去一小层均匀的余量,使其表面保留均匀致密的金相组织,具有较高且一致的物理力学性能,以增加导轨的耐磨性。因此加工时应选导轨面作为粗基准加工床腿底面,如图 1.13a)所示,然后以床腿底面为基准加工导轨平面,如图 3.13b)所示。

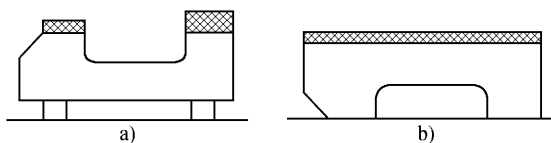


图 3.13 床身加工粗基准选择

4) 同一方向上的粗基准原则上只允许使用一次。因为粗基准本身都是未经加工的表面,精度低,表面粗糙度数值大,在不同工序中重复使用同一尺寸方

底面——限制 3 个自由度(\vec{z} 、 \vec{x} 、 \vec{y})，选择理由：① 基准重合(底面是顶面、 $\phi 16H7$ 孔等在高度方向的设计基准)；② 基准统一(在大多数工序中使用)；③ 定位稳定可靠，夹具结构简单(定位面积大且平整)。

$\phi 16H7$ 孔——限制 2 个自由度(\vec{x} 、 \vec{y})，理由：① 基准重合($\phi 16H7$ 孔轴线是直槽、圆弧槽、2- $\phi 10$ 孔的设计基准)；② 基准统一(在大多数工序中使用)；③ 定位稳定可靠，夹具结构简单。

左边 $\phi 10$ 孔——限制 1 个自由度(\vec{z})，理由：① 基准重合(该孔中心与 $\phi 16H7$ 孔中心连线是直槽、圆弧槽以及右边 $\phi 10$ 孔位置夹角的设计基准)；② 基准统一(在大多数工序中使用)；③ 定位稳定可靠，离 $\phi 16H7$ 孔中心距离远，转角误差小，夹具结构简单。

粗基准的选择：

$\phi 40$ 外圆——限制 4 个自由度(\vec{x} 、 \vec{y} 、 \vec{x} 、 \vec{y})，理由：① 以不加工表面为粗基准保证加工表面与不加工表面之间的相互位置关系(保证孔 $\phi 16H7$ 与 $\phi 40$ 外圆之间壁厚均匀)；② 定位稳定可靠，夹紧方便(定位面积平整且光洁，可用三爪卡盘装夹)。

K 面——限制 1 个自由度(\vec{z})，理由：① 以不加工表面为粗基准保证加工表面与不加工表面之间的相互位置关系(保证尺寸 12)；② 定位方便(直接靠在三爪卡盘卡爪上)。

左边 $R10$ 外缘——限制 1 个自由度(\vec{z})，理由：① 以不加工表面为粗基准保证加工表面与不加工表面之间的相互位置关系(保证 $\phi 10$ 孔的中心与其外圆对称)。

3.2.4 工艺路线的拟订

拟订零件机械加工工艺路线时，要解决的主要问题有：零件各表面加工方法和加工方案的选择，加工阶段的划分，确定工序集中与分散的程度，加工顺序的安排等。

1. 表面加工方法和加工方案的选择

机械零件是由大量的外圆、内孔、平面或复杂的成形表面组合而成的，零件表面加工方案的选择应根据零件各表面所要求的加工精度、表面粗糙度和零件结构特点，选用相应的加工方法和加工方案。选择表面加工方案时应注意以下几点：

(1) 根据加工表面的技术要求，尽可能采用经济加工精度方案

不同的加工方法，如车、铣、刨、磨、钻、镗等，它们的用途各不相同，所能达到的精度和表面粗糙度值也大不一样。即使是同一种加工方法，在不同的加工条件下所得到的精度和表面粗糙度值也不一样。这是因为在加工过程中，将有各

种因素对精度和表面粗糙度产生影响,如工人的技术水平、切削用量、刀具的刃磨质量、机床的调整质量等。

根据统计资料,某一种加工方法的加工误差(或精度)和成本的关系如图 3.15 所示。在 I 段,当零件加工精度要求很高时,零件成本也很高,甚至成本再高,其精度也不能再提高了,存在着一个极限的加工精度,其误差为 Δ_{α} 。相反,在 III 段,虽然精度要求很低,但成本也不能无限降低,其最低成本的极限值为 S_{α} 。因此,在 I、III 段应用此方法加工是不经济的。在 II 段,加工方法与加工精度是相互适应的,加工误差与成本基本上是反比关系,可以较经济地达到一定的精度。II 段的精度范围就称为该种加工方法经济精度的范围。

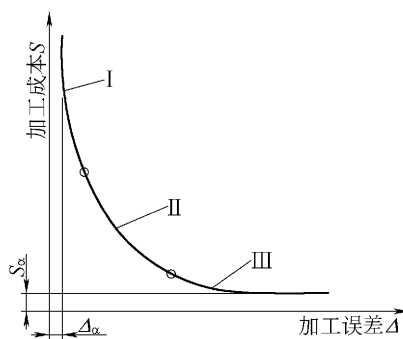


图 3.15 加工精度和加工成本的关系

所谓某种加工方法的经济精度,是指在正常的工作条件下(包括完好的机床设备、必要的工艺装备、标准的工人技术等级、标准的耗用时间和生产费用)所能达到的加工精度。与经济加工精度相似,各种加工方法所能达到的表面粗糙度值也有一个较经济的范围。各种加工方法所能达到的经济精度、表面粗糙度值以及表面形状、位置精度可查阅《金属机械加工工艺人员手册》。

表 3.5、表 3.6、表 3.7 分别介绍了外圆表面、内孔表面和平面较常用的加工方案及其能达到的经济精度和表面粗糙度,表 3.8 摘录了用各种加工方法加工轴线平行孔系的位置精度(用距离尺寸误差表示)。这些都是生产实际的统计资料,可以根据对被加工零件加工表面的精度和表面粗糙度要求,零件的结构和被加工表面的形状、大小以及车间工厂的具体条件,选取最经济合理的加工方案,必要时应进行技术经济论证。当然,这是在一般情况下可能达到的精度和表面粗糙度值,在具体条件下也会有差别。

表 3.5 外圆表面加工方案及其经济精度

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT13 ~ 11	50 ~ 12.5	适用于除淬火热处理以外的金属材料
2	粗车—半精车	IT10 ~ 8	6.3 ~ 3.2	
3	粗车—半精车—精车	IT8、IT7	1.6 ~ 0.8	
4	粗车—半精车—精车—滚压(或抛光)	IT8、IT7	0.2 ~ 0.025	
5	粗车—半精车—磨削	IT8、IT7	0.80 ~ 0.40	除不宜用于有色金属外,主要适用于淬火钢件的加工
6	粗车—半精车—粗磨—精磨	IT7、IT6	0.40 ~ 0.10	
7	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精加工	IT5	0.10 ~ 0.012	
8	粗车—半精车—精车—金刚石车	IT6、IT5	0.40 ~ 0.025	主要用于有色金属
9	粗车—半精车—粗磨—精磨—镜面磨	IT5 以上	Rz 0.05 ~ 0.025	主要用于高精度要求的钢件加工
10	粗车—半精车—精车—精磨—研磨	IT5 以上	Rz 0.10 ~ 0.05	
11	粗车—半精车—精车—精磨—粗研—抛光	IT5 以上	Rz 0.40 ~ 0.05	

随着生产技术的发展,工艺水平的提高,同一种加工方法所能达到的精度和表面质量也会相应提高。例如,外圆磨床一般可达 IT7 级公差和 Ra 0.4 μm 的表面粗糙度,但在采取适当措施提高磨床精度、抗振性,并改进磨削工艺后,可加工出 IT5 和 Ra 0.1 ~ 0.012 μm 的外圆表面。用金刚石车削,也能获得 $Ra \leq 0.01 \mu\text{m}$ 的表面。另外,在大批量生产中,为了保证高的生产率和高的成品率,常把原来能加工较小表面粗糙度值的方法用于加工表面粗糙度值要求较大的表面。例如,连杆加工中用珩磨来获得 Ra 0.8 μm 的表面粗糙度值;曲轴加工中采用超精研磨来获得 Ra 0.4 μm 的表面粗糙度值。

表 3.6 内孔表面加工方案及其经济精度

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	钻	IT13 ~ 11	≥ 12.5	加工未淬火热处理及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属(所得表面粗糙度 Ra 值稍大)
2	钻—扩	IT11、IT10	12.5 ~ 6.3	
3	钻—扩—铰	IT9、IT8	3.2 ~ 1.60	
4	钻—扩—粗铰—精铰	IT7	1.6 ~ 0.80	
5	钻—铰	IT10 ~ 8	6.3 ~ 1.60	
6	钻—粗铰—精铰	IT8、IT7	1.60 ~ 0.80	

续表

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
7	钻—(扩)—拉	IT9~7	1.60~0.10	大批量生产
8	粗镗(或扩孔)	IT13~11	12.5~6.3	除淬火钢外的各种钢材,毛坯上已有铸出或锻出孔
9	粗镗(扩)—半精镗(精扩)	IT9、IT8	3.20~1.60	
10	粗镗(扩)—半精镗(精扩)—精镗(铰)	IT8、IT7	1.60~0.80	
11	粗镗(扩)—半精镗(精扩)—精镗—浮动镗	IT7、IT6	0.80~0.40	主要用于淬火钢,不宜用于有色金属
12	粗镗(扩)—半精镗—磨	IT8、IT7	0.80~0.20	
13	粗镗(扩)—半精镗—粗磨—精磨	IT7、IT6	0.20~0.10	
14	粗磨—半精磨—精磨—金刚镗	IT7、IT6	0.40~0.05	主要用于有色金属。
15	钻—(扩)—粗铰—精铰—珩磨	IT7、IT6	0.20~0.025	精度要求很高的孔,若以研磨代替珩磨,精度可达IT6以上, Ra 可达0.10~0.01
16	钻—(扩)—拉—珩磨	IT7、IT6	0.20~0.025	
17	粗镗—半精镗—精镗—珩磨	IT7、IT6	0.20~0.025	

(2) 根据工件材料的性质及热处理,选用相应的加工方法

例如,钢淬火后应用磨削方法加工,不能用镗削或铰削,而有有色金属则不能用磨削,应采用金刚镗削或高速精细车削的方法进行精加工。

(3) 充分考虑工件的结构和尺寸

例如,回转体类零件的孔的加工常用车削或磨削;而箱体类零件的孔,一般采用铰削或镗削。孔径小时,宜采用铰削;孔径大时,用镗削。

表 3.7 平面加工方案及其经济精度

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车—半精车	IT10~8	6.3~3.2	适用于工件的端面加工
2	粗车—半精车—精车	IT8、IT7	1.6~0.8	
3	粗车—半精车—磨	IT8~IT6	0.8~0.2	
4	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)	IT9、IT8	6.3~1.6	一般未淬硬表面
5	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—刮研	IT7、IT6	0.8~0.1	
6	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—宽刀精刨	IT7、IT6	0.8~0.2	

续表

序号	加工方案	经济精度 公差等级	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
7	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—粗磨—精磨	IT7~5	0.4~0.1	除有色金属外,主要适用于 淬火钢件的加工
8	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—粗磨— 精磨—超精磨	IT5	0.1~0.012	
9	粗铣—拉	IT8~6	0.8~0.2	大量生产较 小平面
10	粗铣—精铣—粗磨—精磨—镜面磨	IT5 以上	0.2~0.025	主要用于高精 度的钢件加工
11	粗铣—精铣—精磨—研磨	IT5 以上	0.1~0.05	

表 3.8 轴线平行孔系的位置精度(经济精度)

加工方法	定位工具	两孔轴线间的距离 误差或从孔轴线到 平面的距离误差	加工方法	定位工具	两孔轴线间的距离 误差或从孔轴线到 平面的距离误差
立钻或摇臂 钻上钻孔	用钻模	0.2~0.1	卧式 镗床 上 镗 孔	用镗模	0.08~0.05
	按画线	3.0~1.0		按定位样板	0.2~0.08
立钻或摇臂 钻上镗孔	用镗模	0.05~0.03		按定位器的 指示读数	0.06~0.04
车床上镗孔	按画线	2.0~1.0		用块规	0.1~0.05
	用带有滑座 的角尺	0.3~0.1		用游标尺	0.4~0.2
坐标镗床上 镗孔	用光学仪器	0.015~0.004		用内径规或 用塞尺	0.25~0.05
金刚镗床上 镗孔		0.02~0.008		用程序控制 的坐标装置	0.05~0.04
多轴组合机 床上镗孔	用镗模	0.05~0.03		按画线	0.6~0.4

(4) 结合生产类型考虑生产率和经济性

大批量生产时,应采用高效的先进工艺,如平面和孔采用拉削代替普通的铣、刨和镗孔。在大批大量生产中可以考虑从根本上改变毛坯的形态,从而大大减少切削加工的工作量。例如,用粉末冶金来制造油泵齿轮,用石蜡铸造柴油机上的小零件等。在单件小批生产中,常采用通用设备、通用工艺装备及一般的加工方法,避免盲目地采用高效加工方法和专用设备而造成经济损失。

(5) 考虑现有生产条件

充分利用现有设备,挖掘企业潜力,发挥工人的积极性和创造性,也考虑不断改进现有的加工方法和设备,采用新技术和提高工艺水平,考虑设备负荷的平衡等。有时,还应考虑一些其他因素,如加工表面的物理力学性能的特殊要求、工件重量等。

例如,某一孔的加工精度为 IT7 级,粗糙度值为 $Ra3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$,查表 3.6 可有四种加工方案:① 钻—扩—铰—精铰;② 粗镗—半精镗—精镗;③ 粗镗—半精镗—粗磨—精磨;④ 钻—(扩)—拉。

方案①用得最多,在大批大量生产中常用在自动机床或组合机床上,在成批生产中常用在立钻、摇臂钻、六角车床等连续进行各个工步加工的机床上。该方案一般用于加工小于 30 mm 的孔径,工件材料为未淬火钢或铸铁,不适于加工大孔径,否则刀具过于笨重。

方案②用于加工毛坯本身有铸出或锻出的孔,但其直径不宜太小,否则因镗杆太细容易发生变形而影响加工精度。箱体零件的孔加工常用这种加工方案。

方案③适用于淬火的工件。

方案④适用于成批或大量生产的中小型零件,其材料为未淬火钢、铸铁及有色金属,且要求轴向刚性较好。

2. 加工阶段的划分

对于加工精度要求较高和粗糙度值要求较低的零件,通常将工艺过程划分为粗加工、半精加工、精加工三个阶段,当加工精度和表面质量要求特别高时,还应增加光整加工和超精密加工阶段。

粗加工阶段应尽快切除零件各个表面的大部分加工余量。这个阶段的主要问题是获得高的生产率。

半精加工阶段继续减少加工余量,为主要表面的精加工作准备,同时完成一些次要表面的加工,如钻孔、攻螺纹、铣键槽等。

精加工阶段使各主要表面达到图纸要求的加工精度和表面粗糙度。

光整加工和超精密加工阶段是对要求特别高的零件增设的加工阶段,主要是为了降低表面粗糙度值,进一步提高尺寸精度。

将工艺过程划分粗、精加工阶段的原因是:

1) 保证加工质量 工件在粗加工时切除的余量大,产生的切削力和切削热也大,同时需要的夹紧力也较大,因而造成工件受力变形和热变形。另外,经过粗加工后工件的内应力要重新分布,也会使工件发生变形。若不分阶段连续进行加工,就无法避免和消除上述原因所引起的加工误差。划分加工阶段后,粗加工造成的误差,可以通过半精加工和精加工得以修正,并逐步提高零件的加工精度和表面质量。

2) 合理使用设备 粗加工阶段可以使用功率大、刚性好、精度低、效率高的

机床 精加工阶段则要求使用精度高的机床。这样各得其所,有利于充分发挥粗加工机床的动力,又有利于长期保持精加工机床的精度。

3) 便于安排热处理工序 划分加工阶段可以在各个阶段中插入必要的热处理工序,使冷热加工配合得更好。实际上,加工中常常是以热处理作为加工分阶段的界线。如在粗加工之后进行去除内应力的时效处理,在半精加工后进行淬火处理等。

4) 便于及时发现毛坯缺陷,保护精加工表面 在粗加工阶段,由于切除的金属余量大,可以及早发现毛坯的缺陷(夹渣、气孔、砂眼等),便于及时修补或决定报废,避免继续加工而造成工时和费用的浪费。而精加工表面安排在后面加工,可保护其不受损坏。

当然,加工阶段的划分不是绝对的,例如加工重型零件时,由于装夹吊运不方便,一般不划分加工阶段,在一次安装中完成全部粗加工和精加工。为提高加工的精度,可在粗加工后松开工件,让其充分变形,再用较小的力夹紧工件进行精加工,以保证零件的加工质量。另外,如果工件的加工质量要求不高,工件的刚度足够,毛坯的质量较好且切除的余量不多,则可不划分加工阶段。

应当指出,加工阶段的划分是针对零件加工的整个过程而言的,是针对主要加工表面而划分的,而不能从某一表面的加工或某一工序的性质来判断。例如,工件的定位基准,在半精加工甚至粗加工阶段就应加工得很精确,而某些钻小孔的粗加工工序,又常常安排在精加工阶段。

3. 工序集中与工序分散

在选定了各表面的加工方法和划分加工阶段之后,还要将工艺过程划分为若干工序。划分工序时有两个不同的方法,即工序的集中和工序的分散。

工序集中就是将工件的加工集中在少数几道工序内完成,此时工艺路线短,工序数目少,每道工序加工的内容多。

工序集中的工艺特点是减少了工件装夹次数,在一次安装中加工出多个表面,有利于提高表面间的相互位置精度,减少工序间运输,缩短生产周期,减少设备数量,从而相应地减少操作工人和生产面积。工序集中有利于采用高生产率的先进或专用设备、工艺装备,提高加工精度和生产率,但设备的一次性投资大,工艺装备复杂。

工序分散就是将工件的加工内容分散在较多的工序内完成,此时工艺路线长,工序数目多,每道工序加工的内容少。工序分散的工艺特点是设备、工装比较简单,调整、维护方便,生产准备工作量少,每道工序的加工内容少,便于选择最合理的切削用量,设备数量多,操作人员多,占用生产面积大,组织管理工作量大。

工序集中和分散的程度应对生产规模、零件的结构特点、技术要求和设备等

具体生产条件综合考虑后确定。例如在单件小批生产中,一般采用通用设备和工艺装备,尽可能在一台机床上完成较多的表面加工,尤其是对重型零件的加工,为减少装夹和往返搬运的次数,多采用工序集中的原则,这主要是为了便于组织管理。在大批、大量生产中,常采用高效率的设备和工艺装备,如多刀自动机床、组合机床及专用机床等,使工序集中,以便提高生产率和保证加工质量。但有些工件(如活塞、连杆等)可采用效率高、结构简单的专用机床和工艺装备,按工序分散原则进行生产,这样容易保证加工质量和使各工序的时间趋于平衡,便于组织流水线、自动线生产,提高生产率。面对多品种、中小批量的生产趋势,也多采用工序集中原则,选择数控机床、加工中心等高效、自动化设备,使一台设备完成尽可能多的表面加工。由于工序集中的优点较多,现代生产的发展趋于工序集中。

4. 工序顺序的安排

(1) 机械加工顺序的安排

工件各表面的机械加工顺序,一般按照下述原则安排:

1) 先基准后其他 被选定的零件的精基准表面应先加工,并应加工到足够的精度和表面粗糙度,以便定位可靠且使其他表面能达到一定的精度。例如轴类零件先加工中心孔,齿轮零件应先加工孔和基准端面等。

2) 先粗后精 零件表面加工一般都需要分阶段进行,先安排各表面的粗加工,其次安排半精加工,最后安排主要表面的精加工和光整加工。

3) 先主后次、穿插进行 根据零件功用和技术要求,往往先将零件各表面分为主要表面和次要表面,然后先着重考虑主要表面的加工顺序,再把次要表面适当穿插在主要表面的加工工序之间。由于次要表面的精度不高,一般在粗加工和半精加工阶段即可完成,但对于那些同主要表面相对位置关系密切的次要表面,通常多安排在精加工之后加工。如箱体零件上重要孔周围的紧固螺纹孔,常安排在重要孔精加工后进行钻孔和攻螺纹。

4) 先面后孔 对于底座、箱体、支架及连杆类零件应先加工平面,后加工内孔,因为平面一般面积较大,轮廓平整,先加工好平面,便于在加工孔时定位安装,有利于保证孔与平面的位置精度,同时也给孔加工带来方便,使刀具的初始工作条件得到改善。

综合以上原则,常见的机械加工顺序为:定位基准的加工—主要表面的粗加工—次要表面加工—主要表面的半精加工—次要表面加工—修基准—主要表面的精加工。

以上是安排机械加工工序顺序的一些基本原则。实际工作时,为了缩短工件在车间内的运输距离,考虑加工顺序时,还应考虑车间设备布置情况,尽量减少工件往返流动。

(2) 热处理工序的安排

工艺过程中的热处理按其目的,大致可分为预备热处理和最终热处理两大类,前者可以改善材料切削加工性能,消除内应力和为最终热处理做准备;后者可使材料获得所需要的组织结构,提高零件材料的硬度、耐磨性和强度等性能。

1) 预备热处理 正火和退火可以消除毛坯制造时产生的内应力,稳定金属组织和改善金属的切削性能,一般安排在粗加工之前。含碳量大于0.5%的碳钢和合金钢,为降低金属的硬度便于切削,常采用退火处理;含碳量低于0.5%的碳钢和合金钢,为避免硬度过低造成切削时粘刀,常采用正火处理;铸铁件一般采用退火处理,锻件一般采用正火处理。

时效处理主要用于消除毛坯制造和机械加工过程中产生的内应力,一般安排在粗加工前后进行。例如对于大而复杂的铸件,为了尽量减少由于内应力引起的变形,常常在粗加工前采用自然时效处理,粗加工后进行人工时效处理;对于精度高、刚性差的零件(如精密丝杆),为消除内应力,稳定精度,常在粗加工、半精加工、精加工之间安排多次时效处理。

调质处理可以改善材料的综合力学性能,获得均匀细致的索氏体组织,为表面淬火和氮化处理作组织准备。对硬度和耐磨性要求不高的零件,调质处理可作为最终热处理工序。调质处理一般安排在粗加工之后,半精加工之前。

2) 最终热处理 淬火处理或渗碳淬火处理,可以提高零件表面的硬度和耐磨性,常需预先进行正火及调质处理。淬火处理一般安排在精加工或磨削之前进行,当用高频淬火时也可安排为最终工序。渗碳淬火处理适用于低碳钢和低碳合金钢,其目的是使零件表层含碳量增加,经淬火后可使表层获得高的硬度和耐磨性,而心部仍可保持一定的强度和较高的韧性及塑性。渗碳淬火一般安排在半精加工之后进行。

渗氮处理是使氮原子渗入金属表面,从而获得一层含氮化合物的处理方法。渗氮可以提高零件表面的硬度、耐磨性、疲劳强度和抗蚀性。由于渗氮处理温度较低,变形小,且渗氮层较薄(一般不超过0.6~0.7 mm),渗氮工序应尽量靠后安排。为了减少渗氮时的变形,在切削加工后一般需要进行消除应力的高温回火。

表面处理(电镀及氧化)可提高零件的抗腐蚀能力,增加耐磨性,使表面美观等。一般安排在工艺过程的最后进行。

零件机械加工的一般工艺路线为:毛坯制造→退火或正火→主要表面的粗加工→次要表面加工→调质(或时效)→主要表面的半精加工→次要表面加工→淬火(或渗碳淬火)→修基准→主要表面的精加工。

3) 辅助工序的安排 检验是主要的辅助工序,除每道工序由操作者自行检验外,在粗加工之后、精加工之前、零件转车间前后、重要工序加工前后以及零件

全部加工完成之后,还要安排独立的检验工序。

一般来说,钻削、铣削、刨削、拉削等工序加工后要安排去毛刺工序。去毛刺工序应安排在淬火等热处理前。

除检验工序、去毛刺工序外,其他辅助工序还有清洗、防锈、去磁、平衡等,对产品质量有重要的作用,均不要遗漏,要同等重视。

3.2.5 加工余量的确定

零件加工的工艺路线确定以后,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,首先应确定加工余量。

1. 加工余量的概念

为了使零件得到所要求的形状、尺寸和表面质量,在切削加工过程中,必须从加工表面上切除的金属层厚度称为机械加工余量。

(1) 工序余量

完成某一工序而从某一表面上切除的金属层厚度。工序余量等于工件某一工序前后尺寸之差。

如图 3.16a) 所示,对于被包容面 $Z_b = a - b$

如图 3.16b) 所示,对于包容面 $Z_b = b - a$

式中 Z_b ——工序余量;

a ——上工序的工序尺寸;

b ——本工序的工序尺寸。

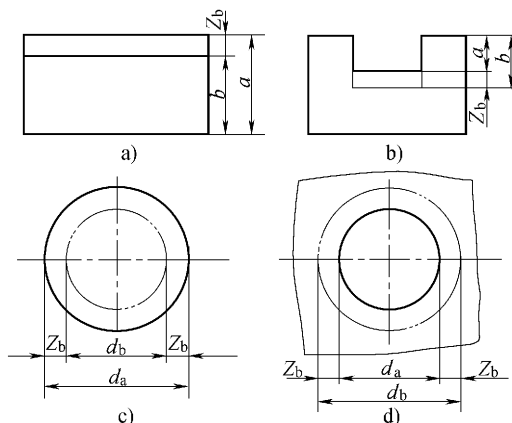


图 3.16 加工余量

图 a)、图 b) 的加工余量为非对称的单边余量,图 c)、图 d) 回转体表面(外圆和孔)上的加工余量为对称的双边余量。

如图 3.16c) 所示, 对于外圆表面 $2Z_b = d_a - d_b$

如图 3.16d) 所示, 对于内孔表面 $2Z_b = d_b - d_a$

式中 $2Z_b$ ——直径上的加工余量;

d_a ——上工序的加工表面直径;

d_b ——本工序的加工表面直径。

(2) 总加工余量 Z_Σ

为了得到零件上某一表面所要求的精度和表面质量而从毛坯的这一表面上切除的全部多余金属层的厚度, 称为该表面的总加工余量, 总加工余量等于毛坯尺寸与零件尺寸之差。总加工余量又等于各工序加工余量之和, 即 Z_Σ

$$= \sum_{i=1}^n Z_i \text{ 如图 3.17 所示。}$$

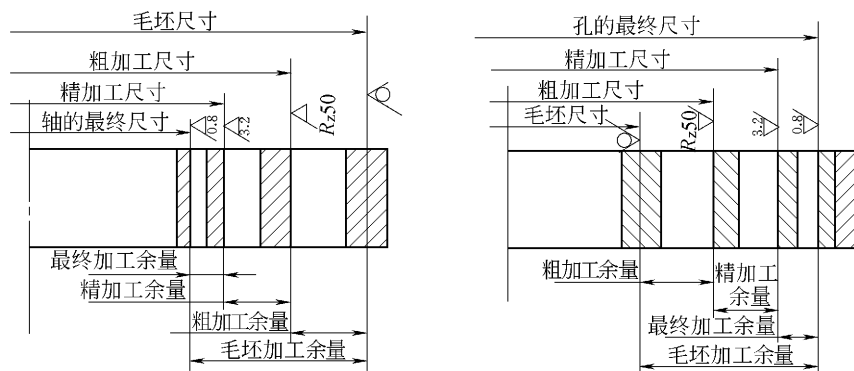


图 3.17 加工余量和加工尺寸分布图

毛坯制造和加工尺寸都有误差, 都必须规定一定的公差。工序尺寸公差带, 一般规定按“单向入体原则”标注。对被包容面, 工序基本尺寸为最大极限尺寸, 上偏差为零; 对包容面, 工序基本尺寸即为最小极限尺寸, 下偏差为零。孔与孔(或平面)之间的距离尺寸应按对称分布标注, 毛坯尺寸通常是正负分别标注的。

因为尺寸的加工误差、加工余量是变动的, 因此加工余量又有公称(或基本)加工余量、最大加工余量和最小加工余量之分。工序余量的变动范围等于前后工序尺寸公差之和。

公称加工余量: 前工序与本工序基本尺寸之差。一般指加工余量或手册中查到的加工余量。

最小加工余量: 对包容面, 等于本工序最小工序尺寸与前工序最大工序尺寸之差; 对被包容面, 等于前工序最小工序尺寸与本工序最大工序尺寸之差。

最大加工余量: 对包容面, 等于本工序最大工序尺寸与前工序最小工序尺寸

之差,对被包容面,等于前工序最大工序尺寸与本工序最小工序尺寸之差。

通常情况下,余量是指公称加工余量。

2. 影响最小加工余量的因素

加工余量的大小对零件的加工质量和生产率均有较大的影响。加工余量过大,会浪费原材料和加工工时,降低生产率,而且会增大机床和刀具的负荷,增加电力的消耗,提高加工成本。但是加工余量过小,又不能消除前工序的各种误差及表面缺陷,甚至产生废品。

为了合理确定加工余量,必须分析影响最小加工余量的各项因素。影响最小加工余量的主要因素有:

(1) 前工序的表面粗糙度 Ra 和表面缺陷层深度 H_a

前工序留下的表面粗糙度值 Ra 和表面缺陷层深度 H_a (包括冷硬层、氧化层、气孔类渣层、脱碳层、表面裂纹或其他破坏层),如图 3.18 所示,必须在本工序中切除。

(2) 前工序的尺寸公差 T_a

前工序加工后,表面存在的尺寸误差和形状误差,应当在本工序中予以去除。这些误差一般不超过前工序的尺寸公差 T_a 。 T_a 的数值可从工艺手册中按加工方法的经济加工精度查得。

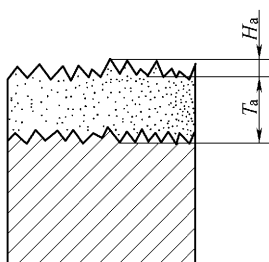


图 3.18 表面粗糙度和缺陷层

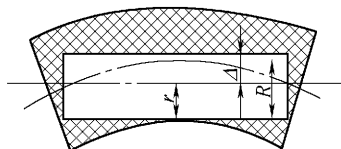


图 3.19 轴线弯曲对加工余量的影响

(3) 前工序的相互位置偏差 ρ_a

它包括轴线的位移及直线度、平行度、轴线与表面的垂直度、阶梯轴内外圆的同轴度、平面的平面度等。为了保证加工质量,必须在本工序中给予纠正。如图 3.19 所示的轴,其轴线有直线度误差 Δ ,则加工余量至少应增加 2Δ 才能保证该轴加工后消除弯曲的影响。

(4) 本工序加工时的安装误差 ε_b

此误差包括定位误差和夹紧误差。它将直接影响被加工表面与刀具表面的相对位置,因此有可能因余量不足而造成废品,所以必须给予余量补偿。定位误差可按定位方法进行计算,夹紧误差可根据有关资料查得。如图 3.20 所示零

件,由于三爪卡盘的偏心,使零件装夹后毛坯中心与机床回转中心偏离了一个距离,其误差为 ε_b ,则加工余量至少应大于 $2\varepsilon_b$,才能加工出一个符合要求的孔来。

由于 ρ_a 和 ε_b 是空间向量,二者对加工余量的影响应该是向量和。

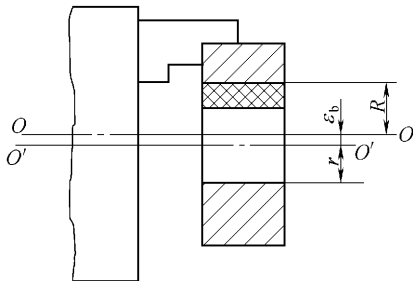


图 3.20 安装误差对加工余量的影响

3. 确定加工余量的方法

(1) 计算法

根据上述各种因素对加工余量的影响,可得出基本余量的计算公式:

$$\text{非对称加工面(如平面)} \quad Z_b \geq T_a + (Ra + H_a) + |\vec{\rho}_a + \vec{\varepsilon}_b| \quad (3.1)$$

$$\text{对称加工面(如轴或孔)} \quad 2Z_b \geq T_a + 2(Ra + H_a) + 2|\vec{\rho}_a + \vec{\varepsilon}_b| \quad (3.2)$$

上述两个基本公式,在实际应用时可根据具体加工条件简化。例如,在无芯磨床上加工轴时,本工序的安装误差可忽略不计;用浮动铰刀、浮动镗刀及珩磨等加工孔时,由于是自为基准,前工序的相互位置偏差对加工余量没有影响,且本工序无安装误差;光整加工(如研磨、抛光、超精加工等)时,主要是降低表面粗糙度值,因此加工余量只需要去掉前工序的表面粗糙度值就可以了。

用计算法可确定出最合理的加工余量,既节省金属,又保证了加工余量。但必须要有可靠的实验数据资料,且计算过程比较复杂,因此应用较少,仅适用于大量生产。

(2) 查表修正法

此法的加工余量可在《金属切削加工工艺人员手册》等中查找,再根据现有生产条件加以修正。手册中推荐的数据是以在生产实际和试验研究中积累的有关资料数据为基础,并结合具体加工情况加以修正后制定的。在查表时应注意表中数据是公称(基本)余量值,对称表面(如孔或轴)的余量是双边的,非对称表面余量是单边的。此法准确、简单、方便,在实际生产中比较适用,各工厂应用最广。

(3) 经验估算法

此法由工艺人员根据实际经验来确定加工余量。为了防止工序余量不够而产生废品,所估余量一般偏大,不经济,不太可靠,所以常用于单件小批生产。

3.2.6 工序尺寸的确定

零件图上规定的设计尺寸和公差,是经过多道工序加工后达到的。工序尺寸是零件加工过程中每道工序应保证的尺寸,其公差即工序尺寸公差。正确地确定工序尺寸及其公差,是制订工艺规程的重要工作之一。

工序尺寸及其公差的确定,不仅取决于设计尺寸及加工余量,而且还与工序尺寸的标注方法以及定位基准选择和转换有着密切的关系。所以,计算工序尺寸时应根据不同的情况采用不同的方法。

外圆、内孔和某些平面的加工,其定位基准与设计基准重合,同一表面需经过多道工序加工才能达到图纸的要求。此时,各工序尺寸及公差取决于各工序的加工余量及加工精度。计算方法是:先确定各工序的基本余量及各工序加工的经济精度,然后根据设计尺寸和各工序余量,从后向前推算各工序基本尺寸,直到毛坯尺寸,再将各工序尺寸的公差按“单向入体原则”标注。

例题 3.2 某阶梯轴零件,材料为 45 钢,毛坯是热轧棒料,其中,直径为 $\phi 30_{-0.013}^0$ mm、表面粗糙度值 Ra 为 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 、长度为 200 mm 的外圆表面的加工程序为粗车—半精车—半精磨—精磨。根据《金属切削工艺人员手册》查得各工序的加工余量和所能达到的经济精度,见表 3.9 中第二、三列。粗车的余量一般在表中无法直接查出,是通过毛坯余量减去其余各工序余量之和计算得出的。根据余量,可向前推算出各工序尺寸,其计算结果列于第五列。按“单向入体原则”标注各工序尺寸的公差,其中毛坯的余量及毛坯公差(按正负分布)可根据毛坯的生产类型、结构特点、制造方法和生产厂的具体条件,参照有关毛坯手册选用。此例中毛坯余量为 4 mm,毛坯公差为 ± 0.5 mm。

$$Z_{\text{粗车}} = 4\text{ mm} - (1.0 + 0.25 + 0.15)\text{ mm} = 2.6\text{ mm}$$

表 3.9 工序尺寸及公差的计算

工序	加工余量 /mm	工序经济精度		粗糙度值 Ra / μm	工序尺寸及公差/mm
		公差等级	公差值		
毛坯尺寸					$\phi 34 \pm 0.5$
粗车	2.6	IT13	0.39	12.5	$\phi 31.4_{-0.39}^0$
半精车	1.0	IT10	0.10	3.2	$\phi 30.4_{-0.10}^0$
半精磨	0.25	IT8	0.039	0.4	$\phi 30.15_{-0.039}^0$
精磨	0.15	IT6	0.013	0.2	$\phi 30_{-0.013}^0$

以上是基准重合时工序尺寸及其公差的确定方法。当基准不重合时,就必须应用尺寸链的原理进行分析计算(见 3.3 节)。

3.2.7 机床及工艺装备的确定

1. 机床的确定

机床选择时应注意以下几点：

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。即小工件应选小的机床,大工件选大机床,做到合理使用设备。

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,大批量生产宜选高生产率的专用设备。

4) 机床的选择应结合现场的实际情况。例如设备的类型、规格及精度状况、设备负荷的平衡情况以及设备的分布排列情况等。

2. 工艺装备的确定

工艺装备的选择是否合理,直接影响到工件的加工精度、生产率和经济性。因此,要结合生产类型、具体的加工条件、工件的加工技术要求和结构特点等合理选用。

(1) 夹具的选择

单件小批生产应尽量选择通用夹具,例如,各种卡盘、虎钳和回转台等。如条件具备,可选用组合夹具,以提高生产率。大批量生产,应选择生产率高和自动化程度高的专用夹具。多品种中小批量生产可选用可调整夹具或成组夹具。夹具的精度应与工件的加工精度相适应。

(2) 刀具的选择

一般应优先选用标准刀具,以缩短刀具制造周期和降低成本。必要时可选择各种高生产率的复合刀具及其他一些专用刀具。刀具的类型、规格及精度应与工件的加工要求相适应。

(3) 量具的选择

单件小批量生产应选用通用量具,如游标卡尺、千分尺、千分表等。大批量生产应尽量选用效率较高的专用量具,如各种极限量规、专用量具和测量仪器等。所选量具的量程和精度要与工件的结构尺寸和精度相适应。

3.2.8 确定切削用量和时间定额

1. 切削用量的选择

合理的切削用量,对保证加工质量,提高生产率,获得良好的经济效益都有着重要的意义。选择切削用量时,应综合考虑零件的生产纲领、加工精度、表面粗糙度、材料、刀具的材料及耐用度等因素。

单件小批生产时,为了简化工艺文件,一般不明确规定切削用量,而由操作者根据具体情况自行确定。

生产批量较大时,特别是组合机床、自动机床及多刀切削加工工序的切削用量,应科学、严格地确定。

一般来说,粗加工时,由于加工精度要求低,选择切削用量应尽可能保证较高的金属切除率和合适的刀具耐用度,以达到较高的生产率。为此,在确定切削用量时,应优先考虑采用大的背吃刀量(切削深度),其次考虑采用较大的进给量,最后根据刀具的耐用度要求,确定合理的切削速度。

半精加工、精加工时,选择切削用量首先要考虑的问题是保证加工精度和表面质量,同时也要考虑刀具耐用度和生产率。半精加工和精加工时一般多采用较小的背吃刀量和进给量。在背吃刀量和进给量确定之后,再确定合理的切削速度。

在采用组合机床、自动机床等多刀具同时加工时,其加工精度、生产率和刀具的寿命与切削用量的关系很大。为保证机床正常工作,不经常换刀,其切削用量要比采用一般普通机床加工时低一些。

在确定切削用量的具体数据时,可凭经验,也可查阅有关手册中的表格,或在查表的基础上,再根据经验和加工的具体情况,对数据作适当的修正。

2. 时间定额

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

时间定额不仅是衡量劳动生产率的指标,也是安排生产计划、计算生产成本的重要依据,还是新建或扩建工厂(或车间)时计算设备和工厂面积的依据。

制定时间定额应根据本企业的生产技术条件,使大多数工人都能达到,部分先进工人可以超过,少数工人经过努力可以达到或接近的平均先进水平。合理的时间定额能调动工人的积极性,促进工人技术水平的提高,从而不断提高劳动生产率。随着企业生产技术条件的不断改善,时间定额应定期修订,以保持定额的平均先进水平。

(1) 单件时间定额

为了正确地确定时间定额,通常把完成一个工序所消耗的单件时间 T_p 分为基本时间 T_b 、辅助时间 T_a 、布置工作地时间 T_s 、休息和生理需要时间 T_r 及准备和终结时间 T_e 等。

1) 基本时间 T_b 基本时间是直接改变生产对象的尺寸、形状、相对位置、表面状态或材料性质等的工艺过程所消耗的时间。对机械加工而言,就是直接切除工序余量所消耗的时间(包括刀具的切入和切出时间)。

2) 辅助时间 T_a 辅助时间是为实现基本工艺工作所必须进行的各种辅助

动作所消耗的时间。它包括装卸工件、开停机床、引进或退出刀具、改变切削用量、试切和测量工件等所消耗的时间。

辅助时间的确定方法随生产类型而异。大批大量生产时,为使辅助时间规定的合理,需将辅助动作进行分解,再分别确定各分解动作的时间,最后予以综合;中批生产可根据以往的统计资料来确定;单件小批生产则常用基本时间的百分比进行估算。

基本时间和辅助时间的总和称为作业时间,它是直接用于制造产品或零、部件所消耗的时间。

3) 布置工作地时间 T_s 布置工作地时间是为使加工正常进行,工人照管工作地(如调整和更换刀具、修整砂轮、润滑和擦拭机床、清理切屑等)所消耗的时间。 T_s 不是直接消耗在每个工件上的,而是消耗在一个工作班内的时间,再折算到每个工件上的。一般按作业时间的 2% ~ 7% 计算。

4) 休息与生理需要时间 T_r 休息与生理需要时间是工人在工作班内为恢复体力和满足生理上的需要所消耗的时间。 T_r 也是按一个工作班为计算单位,再折算到每个工件上的。一般按作业时间的 2% ~ 4% 计算。

5) 准备和终结时间 T_e (简称准终时间) 准备和终结时间是工人为了生产一批产品或零、部件,进行准备和结束工作所消耗的时间。例如,在单件或成批生产中,每当开始加工一批工件时,工人需要熟悉工艺文件、领取毛坯、材料、工艺装备、安装刀具和夹具、调整机床和其他工艺装备等所消耗的时间;一批工件加工结束后,需拆下和归还工艺装备、送交成品等。 T_e 既不是直接消耗在每个工件上,也不是消耗在一个工件班内的时间,而是消耗在一批工件上的时间。因而分摊到每个工件上的时间为 T_e/n ,其中 n 为批量。

故单件和成批生产的单件时间 T_p 应为

$$T_p = T_b + T_a + T_s + T_r + \frac{T_e}{n} \quad (3.3)$$

大批量生产中,由于 n 的数量值很大, $\frac{T_e}{n} \approx 0$, 可忽略不计。

(2) 提高生产率的措施

提高生产率就是要缩短单件时间定额,即缩短基本时间、辅助时间、布置工作地时间和准备终结时间。下面简要分析缩短单件时间的几种途径。

1) 缩减基本时间 T_b 基本时间 T_b 可按有关公式计算。如外圆车削时

$$T_b = \frac{\pi DLZ}{1000 v_c f a_p} \quad (3.4)$$

式中 D ——切削直径,单位为 mm;

L ——切削行程长度,包括加工表面的长度、刀具切入和切出长度,单位为

mm ;

Z ——工序余量(此处为单边余量) ,单位为 mm ;

v_c ——切削速度 ,单位为 m/min ;

f ——进给量 ,单位为 mm/r ;

a_p ——背吃刀量 ,单位为 mm。

上式说明 增大切削用量 v_c 、 f 、及 a_p ,减少切削行程长度都可以缩减基本时间。

① 增大切削用量 近年来随着刀具(砂轮)材料的迅速发展 ,刀具(砂轮)的切削性能已有很大的提高 ,高速切削和强力切削已成为切削加工的主要发展方向。目前 ,硬质合金车刀的切削速度一般可达 200 m/min ,而陶瓷刀具的切削速度可达 500 m/min。近年来出现的聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼刀具在切削普通钢材时 ,其切削速度可达到 900 m/min ;加工 60HRC 以上的淬火钢或高镍合金钢时 ,切削速度可在 90 m/min 以上。磨削的发展趋势是高速磨削和强力磨削。高速磨削速度已达 80 m/s 以上 ,强力磨削的金属切除率可为普通磨削的 3~5 倍 ,其磨削深度一次可达 6~30 mm。

在大平面加工中 ,采用铣削代替刨削 ,进给量可达 1.5 m/min ,效率可提高 8 倍左右。

② 减少或重合切削行程长度 利用多把刀具或复合刀具对工件的同一表面或多个表面同时进行加工 ,或者用宽刃刀具或成形刀具作横向进给 ,同时加工多个表面 ,实现复合工步 ,都能减少刀具的切削行程长度 ,或使切削行程长度部分或全部重合 ,减少基本时间。如图 3.21 所示。

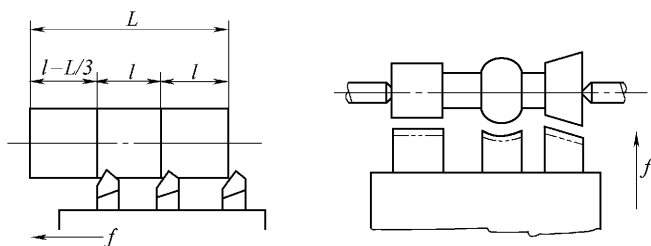


图 3.21 减少或重合切削行程长度的方法

采用多件加工也是缩短切削行程的有效措施。多件加工有三种形式 :顺序多件加工、平行多件加工和平行顺序加工。如图 3.22 a)所示为顺序多件加工 ,图 3.22b)所示为平行多件加工 ,图 3.22c)所示为平行顺序加工。

③ 减小切削加工余量 Z ——毛坯精化 采用先进的毛坯制造方法 ,如粉末冶金、压力铸造、精密铸造、精锻、冷挤压、热挤压等新工艺 ,能有效地提高毛坯精

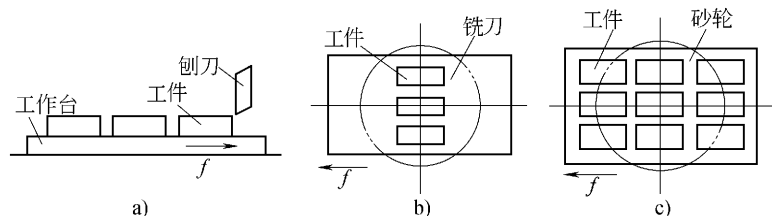


图 3.22 多件加工示意图

度,减少机械加工量,节约材料,提高效率。采用少无切削代替常规切削加工方法,以提高生产率和提高加工精度、表面质量。如采用冷挤压齿轮代替剃齿时,其表面粗糙度值可达 $Ra1.25 \sim 0.63 \mu\text{m}$,生产率可提高 4 倍。

2) 缩短辅助时间 在单件小批生产中,如何缩减辅助时间,是提高生产率的关键。缩减辅助时间有两种方法:直接缩减辅助时间和间接缩减辅助时间。

① 直接缩减辅助时间 采用先进的高效率夹具可缩减工件的装卸时间。大批量生产中采用先进夹具,如气动、液压驱动夹具,不仅减轻了工人的劳动强度,而且可大大缩减装卸工件时间。在单件小批量生产中采用成组夹具或通用夹具,能节省工件的装卸找正时间。

采用主动测量法可减少加工中的测量时间。主动测量装置能在加工过程中测量工件加工表面的实际尺寸,并可根据测量结果,对加工过程进行主动控制。目前在内外圆磨床上应用较普遍。

在各类机床上配置的数字显示装置,都是以光栅、感应同步器为检测元件,能连续显示出工件在加工过程中尺寸的变化。采用该装置后能显示出刀具的位移量,节省停机测量的辅助时间。

② 间接缩减辅助时间 间接缩减辅助时间,即使辅助时间与基本时间重合,从而减少辅助时间。例如,图 3.23 所示为立式连续回转工作台铣床加工的实例。机床有两根主轴顺次进行粗、精铣削,装卸工件时机床不停机,因此辅助时间和基本时间重合。

采用转位移位工作台或多根心轴,在加工时间内对另一工件进行装卸,可使装卸工件时间与基本时间重合。

前面提到的主动测量或数字显示装置也能使测量时间与基本时间重合。

3) 缩短布置工作地时间 布置工作地时间

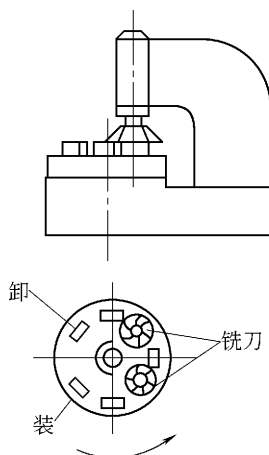


图 3.23 立式连续回转工作台铣床

大部分消耗在更换刀具和调整刀具上,采用各种快换刀夹、刀具微调机构、专用对刀样板或对刀块等,可以减少刀具的调整和对刀时间。

4) 缩短准备和终结时间 缩短准备和终结时间的主要方法是扩大零件的批量和减少调整机床、刀具和夹具的时间。

成批生产中,除设法缩短安装刀具、调整机床等的时间外,应尽量扩大制造零件的批量,减少分摊到每个零件上的准终时间。中、小批生产中,由于批量小、品种多,准终时间在单件时间中占有较大比重,使生产率提高受到限制。因此,应设法使零件通用化和标准化,以增加被加工零件的批量,或采用成组技术。

3.2.9 工艺方案的技术经济分析

制订某一零件的机械加工工艺规程时,一般都可以拟订出几种不同的工艺方案,不同的工艺方案有不同的经济效益。只有对各种不同的工艺方案进行经济分析,才能得到既能保证工件加工质量和生产率,又能达到成本最低的工艺方案。

整个生产过程中所消耗的费用称为生产成本。生产成本包括两部分,一部分与工艺过程直接有关,称为工艺成本;另一部分与工艺过程不直接有关(例如行政人员工资、厂房折旧费、照明费、采暖费等)。工艺成本约占零件生产成本的70%~75%。对工艺方案进行经济分析时,只要分析与工艺过程直接有关的工艺成本即可,因为在同一生产条件下与工艺过程不直接有关的费用,各方案相比基本上是相等的。

1. 工艺成本的组成及计算

工艺成本由可变费用 V 与不变费用 C 两部分组成。可变费用与零件的年产量有关,它包括材料费(或毛坯费)、机床工人工资、通用机床和通用工艺装备维护折旧费等。不变费用与零件年产量无关,它包括专用机床、专用工艺装备的维护折旧费用以及与之有关的调整等。因为专用机床、专用工艺装备是专为加工某一工件所用,它不能用来加工其他工件,而专用设备的折旧年限是一定的,因此专用机床、专用工艺装备的费用与零件的年产量无关。

零件加工全年工艺成本 S 与单件工艺成本 S_d 可用下式表示:

$$S = VN + C \quad (3.5)$$

$$S_d = V + \frac{C}{N} \quad (3.6)$$

式中 N ——零件的年产量,单位为件;

V ——可变成本,单位为元/件;

C ——不变成本,单位为元/件。

图3.24、图3.25分别给出了全年的工艺成本 S 与年产量 N 、单件工艺成本

S_d 与年产量 N 的关系图。 S 与 N 呈直线变化关系(图 3.24), 全年工艺成本的变化量 ΔS 与年产量的变化量 ΔN 呈正比关系。 S_d 与 N 呈双曲线变化关系(图 3.25) A 区相当于设备负荷很低的情况, 此时若 N 略有变化 S_d 就变化很大; 而在 B 区, 情况则不同, 即使 N 变化很大 S_d 的变化亦不大, 不变费用 C 对 S_d 的影响很小, 这相当于大批大量生产的情况。在数控加工和计算机辅助制造条件下, 全年工艺成本 S 随零件年产量 N 的变化率与单件工艺成本 S_d 随零件年产量 N 的变化都将减缓, 尤其是在年产量 N 取值较小时, 此种减缓趋势更为明显。

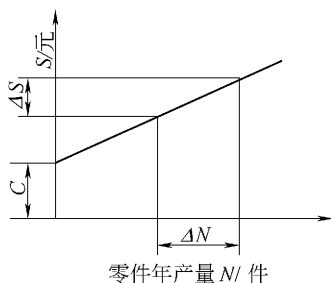


图 3.24 全年工艺成本与年产量 N 的关系

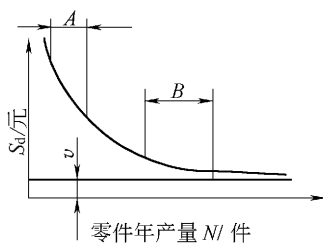


图 3.25 单件工艺成本 S_d 与年产量 N 的关系

2. 工艺方案的经济评比

对几种不同工艺方案进行经济评比时, 一般可分为以下两种情况:

(1) 当需评比的工艺方案均采用现有设备或其基本投资相近时, 可用工艺成本评比各方案经济性的优劣。

1) 两加工方案中少数工序不同, 多数工序相同时, 可通过计算少数不同工序的单件工序成本 S_{d1} 与 S_{d2} 进行评比:

$$S_{d1} = V_1 + \frac{C_1}{N}$$

$$S_{d2} = V_2 + \frac{C_2}{N}$$

当产量 N 为一定数量时, 可根据上式直接计算出 S_{d1} 与 S_{d2} , 若 $S_{d1} > S_{d2}$, 则第二方案为可选方案。若产量 N 为一变量时, 则可根据上式做出曲线进行比较, 如图 3.26 所示。产量 N 小于临界产量 N_k 时, 选择方案 2; 产量 N 大于 N_k 时, 选择方案 1。

2) 两加工方案中, 多数工序不同, 少数工序相同时, 则以该零件加工全年工艺成本 (S_1, S_2) 进行比较, 如图 3.27 所示。

$$S_1 = NV_1 + C_1$$

$$S_2 = NV_2 + C_2$$

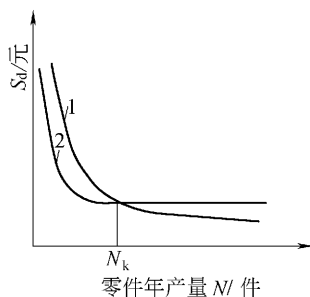


图 3.26 单件工艺成本比较图

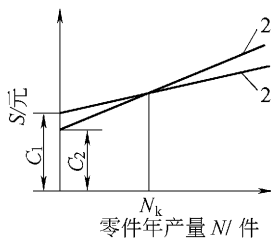


图 3.27 全年工艺成本比较图

当年产量 N 为一定数时,可根据上式直接算出 S_1 及 S_2 ,若 $S_1 > S_2$,则选择第二方案。若年产量 N 为变量时,可根据上式作图比较,如图 3.27 所示。由图可知,当 $N < N_k$ 时,第二方案的经济性好;当 $N > N_k$ 时,第一方案的经济好。当 $N = N_k$, $S_1 = S_2$,即有 $N_k V_1 + C_1 = N_k V_2 + C_2$,所以

$$N_k = \frac{C_2 - C_1}{V_1 - V_2}$$

(2) 两种工艺方案的基本投资差额较大时,则在考虑工艺成本的同时,还要考虑基本投资差额的回收期限。

若第一方案采用了价格较贵的先进专用设备,基本投资 K_1 大,工艺成本 S_1 稍高,但生产准备周期短,产品上市快;第二方案采用了价格较低的一般设备,基本投资 K_2 少,工艺成本 S_2 稍低,但生产准备周期长,产品上市慢。这时如单纯比较其工艺成本是难以全面评定其经济性的,必须同时考虑不同加工方案的基本投资差额的回收期限。投资回收期 τ (单位为年)可用下式求得:

$$\tau = \frac{K_1 - K_2}{(S_2 - S_1) + \Delta Q} = \frac{\Delta K}{\Delta S + \Delta Q} \quad (3.7)$$

式中 ΔK ——基本投资差额,单位为元;

ΔS ——全年工艺成本差额,单位为元/年;

ΔQ ——由于采用先进设备促使产品上市快,工厂从产品销售中取得的全年增收总额,单位为元。

投资回收期必须满足以下要求:

- 1) 回收期限应小于专用设备或工艺装备的使用年限;
- 2) 回收期限应小于该产品由于结构性能或市场需求因素决定的生产年限;
- 3) 回收期限应小于国家所规定的标准回收期,采用专用工艺装备的标准回收期为 2~3 年,采用专用机床的标准回收期为 4~6 年。

若 τ 满足上述要求,应选方案一。

3.2.10 编制工艺规程文件

工艺规程设计好以后,要用规定的形式和格式固定成文件,以便贯彻执行。这些文件(图表、卡片和文字材料等)统称为工艺文件。生产中使用的工艺文件种类很多,这里只介绍两种最常用的工艺文件。

1. 机械加工工艺过程卡片

如表 3.10 所示,是以工序为单位说明工件的整个加工工艺路线,包括工序号、工序名称、工序内容、所经车间工段、所用机床与工艺装备的名称、时间定额等,主要用来表示工件的加工流向,供安排生产计划、组织生产调度用。

2. 机械加工程序卡片

如表 3.11 所示,是说明机械加工工艺过程中的每一工序的具体加工参数,用来指导工人进行具体操作。此卡片主要用于大批大量生产,在成批生产中,对比较重要的工序,有时也编制机械加工程序卡片。工序卡片中工序简图的画法如下:须用细实线画出工件本工序完成后的外形,本工序的加工表面用粗实线表示,标明本工序的工序尺寸及其公差、表面粗糙度以及其他技术要求;用规定的定位夹紧符号表示定位基准、夹压位置和夹压方式。对于多刀加工和多工位加工,还应绘出工序布置图,要求表明每个工位刀具和工件的相对位置和加工要求。图 3.28 所示为转塔车床工序布置图。

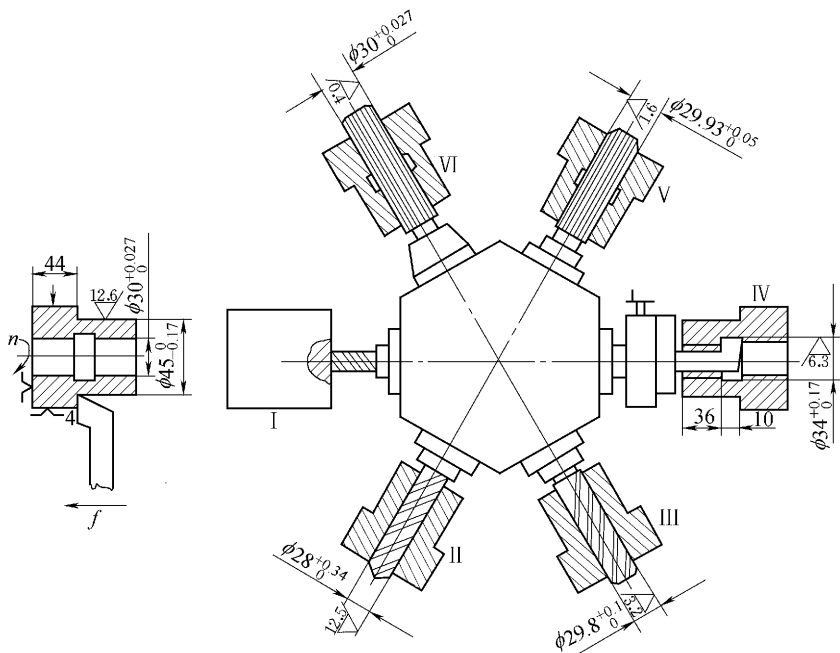


图 3.28 工序布置图示例

表 3.10 机械加工工艺过程卡片

机械加工工艺过程卡片										产品型号		零(部)件图号		共 1 页					
材料牌号				45 钢	毛坯种类	锻件	毛坯外形尺寸			产品名称		解放牌汽车	零(部)件名称		万向节滑动叉		第 1 页		
工序名称		工 序 内 容				车 间		工 段		工 艺 装 备		每毛坯件数		1	每台件数		1	备 注	
工 序 号		工 序 内 容				车 间		工 段		工 艺 装 备		每毛坯件数		1	每台件数		1	备 注	
10	车	车外圆、螺纹及端面				机加	CA6140			车夹具, 车刀, 卡板									
20	车	钻、扩花键底孔及镗止口				机加	CA6140			车夹具, $\phi 25$ 、 $\phi 41$ 钻头, $\phi 43$ 扩孔钻, YTS 镗刀									
30	车	倒角				机加	CA6140			车夹具, 成形刀									
40	钻	钻 Rp1/8 底孔				机加	Z525			钻模, $\phi 3.8$ 钻头									
50	拉	拉花键孔				机加	L6120			拉床夹具, 拉刀, 花键量规									
60	铣	粗铣二端面				机加	X62			铣夹具, $\phi 175$ 高速钢镶齿三面刃铣刀, 卡板									
70	钻	钻、扩 $\phi 39$ 孔并倒角				机加	Z535			钻模, $\phi 25$ 、 $\phi 37$ 钻头, $\phi 38.7$ 扩孔钻, 90° 铤钻									
80	镗	粗、精镗 $\phi 39$ 孔				机加	T740			镗刀头, 专用夹具									
90	磨	磨端面				机加	M7130			GB46ZR ₁ , A6P350 \times 40 \times 127 砂轮, 卡板, 专用夹具									
100	钻	钻 M8 底孔并倒角				机加	Z4112-2			钻模, $\phi 6.7$ 钻头, 120° 铤钻									
110	钻	攻螺纹 M8, Rp1/8				机加	Z525			钻模, M8、Rp1/8 机用丝锥									
120	冲	冲箭头				机加	油压机												
130	检	终检				机加													

表 3.11 机械加工工序卡片

[illegible]

3.3 工艺尺寸链

3.3.1 工艺尺寸链的概念

1. 尺寸链的定义

在零件加工或机器装配过程中,经常能遇到一些互相联系的尺寸组合。这种互相联系的,按一定顺序排列构成的封闭尺寸图形,称为尺寸链。如图3.29a)所示的台阶零件,零件图样上标注的设计尺寸是 A_1 和 A_0 。当用调整法加工3面时(其他表面均已完成加工),为了定位可靠和夹具结构简单,常选1面为定位基准,按尺寸 A_2 对刀加工3面,间接保证尺寸 A_0 。这样,就必须依据 A_1 、 A_2 和 A_0 三个尺寸之间的相互关系计算出 A_2 的尺寸和公差。这三个尺寸就构成一个具有相互联系的封闭的尺寸组合,如图3.29b)所示,它就是一个尺寸链。

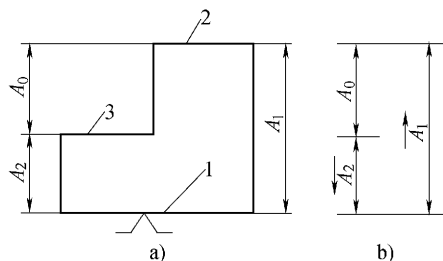


图 3.29 零件加工过程中的尺寸链

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。根据以上尺寸链的定义可知,工艺尺寸链有以下两个特征:

1) 封闭性 尺寸链必须是一组相关尺寸首尾相接构成封闭形式的尺寸。其中,应包含一个间接保证的尺寸和若干个对此有影响的直接保证的尺寸。

如图3.29中,尺寸 A_1 、 A_2 是直接获得的, A_0 是自然形成的。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,并且,自然形成尺寸的精度必然低于任何一个直接获得尺寸的精度。

2) 工艺性 工艺尺寸链与工件的加工方案、定位方式等有密切的关系,工艺尺寸链随着工艺方案的变化而变化。

2. 工艺尺寸链的组成

尺寸链中的每一个尺寸均称为尺寸链中的环。如图3.29中的 A_1 、 A_2 、 A_0 都是尺寸链的环。环又分为封闭环和组成环两种,而组成环又有增环和减环之分。

封闭环 加工(或测量)过程中最后自然形成的尺寸称为封闭环,用 A_0 表

示,如图 3.29 中的 A_0 。封闭环在一个尺寸链中只能有一个。

组成环 加工(或测量)过程中直接获得的尺寸称为组成环,如图 3.29 中的 A_1 和 A_2 。尺寸链中,除封闭环外的其他环都是组成环。组成环按其对封闭环的影响又可分为:

增环 尺寸链的组成环中,若其他组成环不变,该环增大时,引起封闭环相应增大,则该组成环称为增环,用 \vec{A}_i 表示,例如如图 3.29 中的 A_1 。

减环 尺寸链的组成环中,若其他组成环不变,该环增大时,引起封闭环相应减小,则该组成环称为减环,用 \vec{A}_i 表示,例如如图 3.29 中的 A_2 。

3. 增、减环的判定方法

对于环数较少的尺寸链,可以用增减环的定义来判别组成环的增减性质,但对环数较多的尺寸链如图 3.30,用定义来判别增减环就很费时且易弄错。为了迅速且正确判断增、减环,可在尺寸链图上,先假设封闭环为减环方向,沿减环方向绕尺寸链回路一圈,顺次给每一个组成环画出箭头,所得的即为各组成环的方向。如图 3.30 中 \vec{A}_1 、 \vec{A}_3 、 \vec{A}_4 、 \vec{A}_5 为增环, \vec{A}_2 、 \vec{A}_6 为减环。

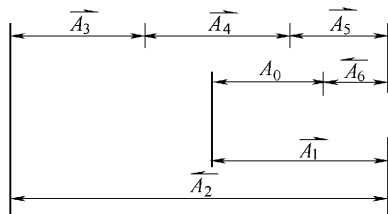


图 3.30 尺寸链增减环判别

4. 工艺尺寸链的建立

应用工艺尺寸链解决实际问题的关键是找出工艺尺寸之间的内在联系,也就是要确定封闭环和组成环。封闭环判断错了,整个尺寸链的解算必将得出错误的结果,组成环查找不对,将得不到正确的尺寸链,解算出来的结果也是错误的。

(1) 封闭环的确定

在工艺尺寸链的建立中,首先要正确判定封闭环。封闭环不是在加工过程中直接得到的,而是通过其他工序尺寸间接获得的,它随着零件加工工艺方案的变化而变化。如图 3.31 所示零件,先以表面 3 定位加工表面 1 而获得尺寸 A_1 ,然后再以表面 1 为测量基准加工表面 2 而直接获得尺寸 A_2 ,则间接获得的尺寸 A_0 是封闭环。但是如果先以表面 1 为测量基准加工表面 2,直接获得尺寸 A_2 ,然后

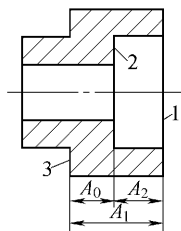


图 3.31 封闭环的确定

调头再以表面 2 定位,采用定距装刀法加工表面 3,直接保证尺寸 A_0 ,则尺寸 A_1 是间接得到的,为封闭环。所以,在确定封闭环时,必须根据零件加工的具体方案,紧紧抓住“间接获得”这一要领。

(2) 组成环的查找

封闭环确定后接着要查找各个组成环。组成环的基本特点是加工过程中直接获得且对封闭环有影响的工序尺寸。组成环一般是指从定位基准面(或测量基准面)到加工面之间的尺寸。所有组成环都必须是直接得到的尺寸。组成环的查找方法是:从构成封闭环的两面开始,同步地按照工艺过程的顺序,分别向前查找该表面最近一次加工的尺寸,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。

下面以图 3.32 零件为例,说明尺寸链建立的具体过程。

图 3.32a) 为一套类零件,为便于讨论问题,图中只标注出轴向设计尺寸,轴向尺寸的加工顺序安排如下:

1) 以大端面 A 定位,车端面 D 得工序尺寸 A_1 ,并车小外圆至 B 面,保证长度 $40_{-0.2}^0$ mm,如图 3.32b) 所示。

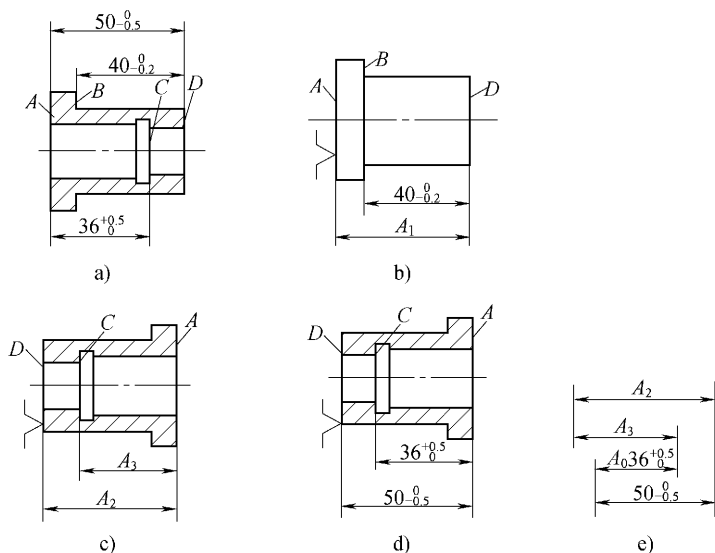


图 3.32 工艺尺寸链建立过程实例

2) 以端面 D 定位,精车端面 A 得工序尺寸 A_2 ,并在镗大孔时车端面 C,使孔

深加工工序尺寸为 A_3 ,如图 3.32c)所示。

3) 以端面 D 定位 ,磨大端面 A 保证全长尺寸 $50_{-0.5}^0$ mm ,如图 3.32d)所示。

由以上工艺过程可以看出 ,孔深设计尺寸 $36_{+0.5}^0$ mm 是间接获得的 ,为封闭环。从构成封闭环的两界面 A 面和 C 面开始查找组成环。 A 面的最近一次加工是磨削 ,工序尺寸是 $50_{-0.5}^0$ mm , C 面的最近一次加工是镗孔时的车削 ,工序尺寸是 A_3 ,显然 $50_{-0.5}^0$ mm 和 A_3 的变化会引起封闭环的变化 ,是组成环。但此两环的工序基准分别为 D 面和磨前的 A 面 ,不重合 ,为此要进一步查找加工 D 面与 A 面的加工尺寸。 A 面的最近一次加工是精车 A 面 ,加工尺寸 A_2 的工序基准正好是 D 面 ,正好与加工尺寸 $50_{-0.5}^0$ mm 的工序基准重合 ,而且 A_2 的变化也会引起封闭环的变化 ,所以 A_2 也是组成环。至此 ,尺寸 A_2 、 A_3 、 $50_{-0.5}^0$ mm 与封闭环 $36_{+0.5}^0$ mm 构成一封闭的尺寸链 ,尺寸链简图如图 3.32e)所示。

3.3.2 工艺尺寸链计算的基本公式

工艺尺寸链的计算方法有两种 :极值法和概率法。极值法是按误差最不利的情况(即各增环极大减环极小或相反)来计算的 ,其特点是简单、可靠。对于组成环数较少或环数虽多 ,但封闭环的公差较大的场合 ,生产中一般采用极值法。概率法是用概率论原理来进行尺寸链计算的。在大批量生产中 ,当尺寸链的环数较多 ,封闭环精度又要求较高时 ,往往需要应用概率法计算。下面仅介绍极值法计算的基本公式 ,概率法将在装配尺寸链中介绍。

图 3.33 为尺寸链计算中各种尺寸和偏差的关系 ,表 3.12 列出了尺寸链计算所用的符号。

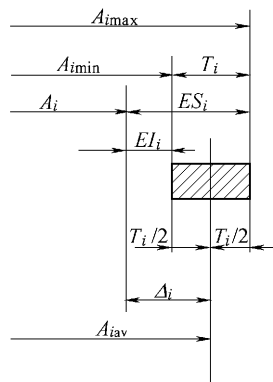


图 3.33 尺寸和偏差的关系

表 3.12 尺寸链计算所用的符号

环名	符号名称							
	基本尺寸	最小尺寸	最大尺寸	上偏差	下偏差	公差	平均尺寸	平均偏差
封闭环	A_0	$A_{0\min}$	$A_{0\max}$	ES_0	EI_0	T_0	$A_{0\text{av}}$	Δ_0
增环	\bar{A}_i	$\bar{A}_{i\min}$	$\bar{A}_{i\max}$	$E\bar{S}_i$	$E\bar{I}_i$	\bar{T}_i	$\bar{A}_{i\text{av}}$	$\bar{\Delta}_i$
减环	\tilde{A}_i	$\tilde{A}_{i\min}$	$\tilde{A}_{i\max}$	$E\tilde{S}_i$	$E\tilde{I}_i$	\tilde{T}_i	$\tilde{A}_{i\text{av}}$	$\tilde{\Delta}_i$

1. 封闭环的基本尺寸

封闭环的基本尺寸等于所有增环的基本尺寸之和减去所有减环的基本尺寸

之和,即
$$A_0 = \sum_{i=1}^n \bar{A}_i - \sum_{i=n+1}^m \tilde{A}_i \quad (3.8)$$

式中 n ——增环数目;

m ——组成环数目。

2. 封闭环的中间偏差

封闭环的中间偏差等于所有增环的中间偏差之和减去所有减环的中间偏差

之和。即
$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_i - \sum_{i=n+1}^m \tilde{\Delta}_i \quad (3.9)$$

式中 Δ_0 ——封闭环的中间偏差;

$\bar{\Delta}_i$ ——第 i 个组成环(增环)的中间偏差 $\bar{\Delta}_i = \frac{ES_i + EI_i}{2}$;

$\tilde{\Delta}_i$ ——第 i 个组成环(减环)的中间偏差。

3. 封闭环的极限尺寸

封闭环的最大极限尺寸等于所有增环最大极限尺寸之和减去所有减环最小

极限尺寸之和,即
$$A_{0\max} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i\max} - \sum_{i=n+1}^m \tilde{A}_{i\min} \quad (3.10)$$

封闭环的最小极限尺寸等于所有增环最小极限尺寸之和减去所有减环最大

极限尺寸之和,即
$$A_{0\min} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{i\min} - \sum_{i=n+1}^m \tilde{A}_{i\max} \quad (3.11)$$

4. 封闭环的上、下偏差

由式(3.10)减去式(3.8),得封闭环的上偏差等于所有增环的上偏差之和减去所有减环的下偏差之和。即

$$ES_0 = \sum_{i=1}^n ES_i - \sum_{i=n+1}^m E\tilde{I}_i \quad (3.12)$$

由式(3.11)减去式(3.8),得封闭环的下偏差等于所有增环的下偏差之和

减去所有减环的上偏差之和。即
$$EI_0 = \sum_{i=1}^n E\tilde{I}_i - \sum_{i=n+1}^m E\tilde{S}_i \quad (3.13)$$

5. 封闭环的公差

由式(3.10)减去式(3.11)得封闭环的公差等于各组成环公差之和。即

$$T_0 = \sum_{i=1}^n \bar{T}_i + \sum_{i=n+1}^m \bar{T}_i = \sum_{i=1}^m T_i \quad (3.14)$$

6. 封闭环的平均尺寸

由式(3.8)和式(3.9)可得封闭环的平均尺寸等于所有增环的平均尺寸之和减去所有减环的平均尺寸之和。即

$$A_{0av} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{iav} - \sum_{i=n+1}^m \bar{A}_{iav} \quad (3.15)$$

其中

$$A_{iav} = \frac{A_{imax} + A_{imin}}{2}$$

3.3.3 工艺尺寸链的应用

1. 基准不重合时工序尺寸及公差的确定

在零件加工中,当加工表面的定位基准或测量基准与设计基准不重合时,其工序尺寸要通过尺寸链换算来获得。

(1) 测量基准与设计基准不重合时尺寸的换算

测量时,由于测量基准与设计基准不重合,需测量的设计尺寸不能直接测得,只能由其他测量尺寸来间接保证,此时需要进行工艺尺寸链的换算。

例题3.3 如图3.34所示零件,加工时尺寸 $10_{-0.36}^0$ mm不便测量,改用深度游标尺测量孔深 A_2 ,总长 $50_{-0.17}^0$ mm(A_1)来间接保证设计尺寸 $10_{-0.36}^0$ mm(A_0),求加工孔深的工序尺寸 A_2 及偏差。

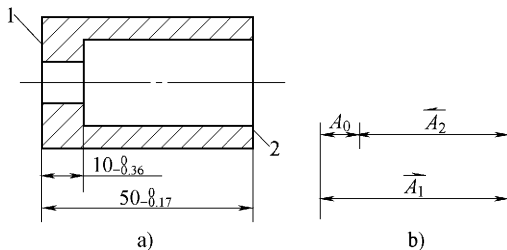


图 3.34 测量尺寸的换算

解 1) 画出尺寸链简图,如图3.34b)所示。

2) 确定封闭环、增环、减环。其中 $10_{-0.36}^0$ mm为封闭环, $50_{-0.17}^0$ mm为增环, A_2 为减环。

3) 计算:

按封闭环的基本尺寸: $A_0 = A_1 - A_2$, $10 \text{ mm} = 50 \text{ mm} - A_2$ 所以 $A_2 = 40 \text{ mm}$

按封闭环的上偏差 $ES_0 = ES_1 - EI_2$ $0 \text{ mm} = 0 \text{ mm} - EI_2$ 所以 $EI_2 = 0 \text{ mm}$

按封闭环的下偏差 $EI_0 = EI_1 - ES_2$ $0.36 \text{ mm} = -0.17 \text{ mm} - ES_2$

所以 $ES_2 = 0.19 \text{ mm}$

最后得 $A_2 = 40^{+0.19}_0 \text{ mm}$

4) 验算封闭环尺寸公差

$$T_0 = 0.36 \text{ mm} \quad T_1 + T_2 = 0.17 \text{ mm} + 0.19 \text{ mm} = 0.36 \text{ mm}$$

所以 $T_0 = T_1 + T_2$,计算正确。

这就是说 ,只要按 $A_1 = 50^{+0.17}_{-0.17} \text{ mm}$,孔深 $A_2 = 40^{+0.19}_0 \text{ mm}$ 进行检测 ,设计尺寸 $10^{+0.36}_{-0.36} \text{ mm}$ 就可自然保证。

应该指出 ,按换算后的工序尺寸来间接保证原设计尺寸要求时 ,还存在一个假废品问题。在本例中 ,若孔深 A_2 的实际尺寸已超出了换算尺寸 $40^{+0.19}_0 \text{ mm}$,从上述计算结果来看 ,该零件被认为是不合格的。可是当 A_2 的实际尺寸为 39.83 mm ,比换算允许的最小极限尺寸 40 mm 还小 0.17 mm ,此时若 A_1 的实际尺寸刚好为最小极限尺寸 49.83 mm ,则此时 A_0 的实际尺寸为 $A_0 = 49.83 \text{ mm} - 39.83 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$,零件是合格的。同样 ,当 A_2 的实际尺寸为 40.36 mm ,比换算允许的最大极限尺寸 40.19 mm 还大 0.17 mm ,此时若 A_1 的实际尺寸刚好为最大极限尺寸 50 mm ,则此时 A_0 的实际尺寸为 $A_0 = 50 \text{ mm} - 40.36 \text{ mm} = 9.64 \text{ mm}$,零件仍是合格的。这就是按工序尺寸报废而按产品设计要求仍合格的“假废品”现象。因此 ,当换算尺寸在一定范围内超差时 ,尚不能判断该零件是否报废 ,尚需对有关尺寸进行复检 ,并计算间接保证尺寸的实际尺寸 ,才能判断该零件是否合格。

(2) 定位基准与设计基准不重合时尺寸的换算

零件加工中 ,加工表面的定位基准与设计基准不重合时 ,也需要进行尺寸换算以求得工序尺寸及其公差。

例题 3.4 如图 3.35a)所示零件 ,孔的设计基准为 C 面。镗孔前 ,表面 A 、 B 、 C 已加工。镗孔时 ,为了使工件装夹方便 ,选择表面 A 为定位基准 ,并按工序尺寸 A_3 进行加工 ,求镗孔的工序尺寸及偏差。

解 经分析得知 ,设计尺寸 A_0 是本土工序加工中自然形成的 ,即为封闭环。然后从封闭环的两边出发 ,查找出 A_1 、 A_2 和 A_3 为组成环。画出如图 3.35b)所示的尺寸链图 ,用画箭头方法判断出 A_2 、 A_3 为增环 , A_1 为减环。根据计算公式可得 :

1) 按封闭环的基本尺寸计算

因为 $A_0 = A_3 + A_2 - A_1$, $100 = A_3 + 40 - 240$,所以 $A_3 = 300$

2) 按封闭环的上偏差计算

因为 $ES_0 = ES_3 + ES_2 - EI_1$ $0.15 = ES_3 + 0 - 0$,所以 $ES_3 = 0.15$

按封闭环的下偏差计算

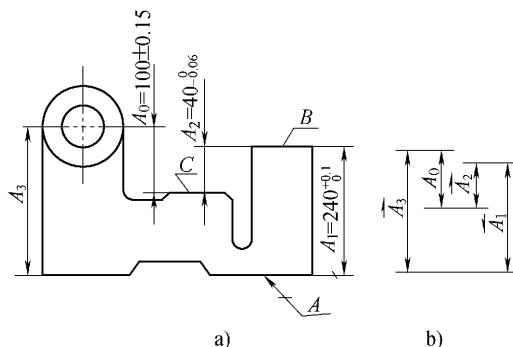


图 3.35 定位基准与设计基准不重合的尺寸换算

因为 $EI_0 = EI_3 + EI_2 - ES_1$, $-0.15 = EI_3 - 0.06 - 0.1$, 所以 $EI_3 = 0.01$
最后得出镗孔的工序尺寸为 $A_3 = 300 \begin{smallmatrix} +0.15 \\ +0.01 \end{smallmatrix} \text{ mm} = 300.08 \text{ mm} \pm 0.07 \text{ mm}$ 。

3) 验算封闭环尺寸公差

$$T_0 = 0.3 \text{ mm}, T_1 + T_2 + T_3 = 0.10 \text{ mm} + 0.06 \text{ mm} + 0.14 \text{ mm} = 0.30 \text{ mm}$$

所以 $T_0 = T_1 + T_2 + T_3$, 计算正确。

在利用尺寸链进行多个工序的工序尺寸计算时,前面工序所间接保证的尺寸,在计算后工序的工序尺寸的尺寸链中,仍不能作为组成环。

例题 3.5 图 3.36a) 所示零件 A、B 面已加工。后续工序为:工序 10,以 A 面定位,铣槽 C 面,求工序尺寸及公差。工序 20,以 A 面定位,镗孔 $\phi 30\text{H}7$,求工序尺寸及公差。

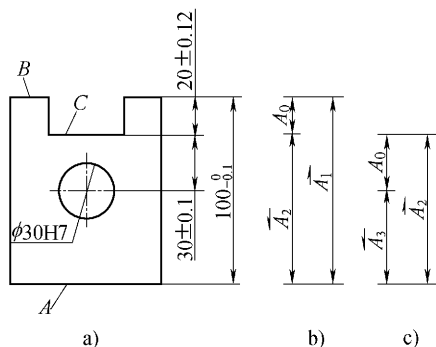


图 3.36 多工序的工艺尺寸链换算

解 (1) 求工序 10 的工序尺寸 A_2

1) 画出尺寸链简图,如图 3.36b) 所示。

2) 确定封闭环、增环、减环。其中 $A_0 = 20 \pm 0.12$ 为封闭环 $A_1 = 100 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.1 \end{smallmatrix}$ 为增环 A_2 为减环。

3) 按封闭环的基本尺寸计算

因为 $A_0 = A_1 - A_2$ $20 = 100 - A_2$ 所以 $A_2 = 80$

按封闭环的上偏差

因为 $ES_0 = ES_1 - EI_2$ $0.12 = 0 - EI_2$ 所以 $EI_2 = -0.12$

按封闭环的下偏差

因为 $EI_0 = EI_1 - ES_2$ $-0.12 = -0.10 - ES_2$ 所以 $ES_2 = 0.02$

最后得出铣槽 C 的工序尺寸为 $A_2 = 80 \begin{smallmatrix} +0.02 \\ -0.12 \end{smallmatrix} \text{ mm} = 80.02 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.14 \end{smallmatrix} \text{ mm}$ 。

4) 验算封闭环尺寸公差

$$T_0 = 0.24 \text{ mm}$$

$$T_1 + T_2 = 0.10 \text{ mm} + 0.14 \text{ mm} = 0.24 \text{ mm}$$

所以 $T_0 = T_1 + T_2$,计算正确。

(2) 求工序 20 的工序尺寸 A_3

1) 画出尺寸链简图 ,如图 3.36c)所示。

2) 确定封闭环、增环、减环。其中 $A_0 = 30 \pm 0.1$ 为封闭环 $A_2 = 80 \begin{smallmatrix} +0.02 \\ -0.12 \end{smallmatrix} \text{ mm}$ 为增环 A_3 为减环。

3) 按封闭环的基本尺寸计算

因为 $A_0 = A_2 - A_3$ $30 = 80 - A_3$ 所以 $A_3 = 50$

按封闭环的上偏差

因为 $ES_0 = ES_2 - EI_3$ $0.10 = 0.02 - EI_3$ 所以 $EI_3 = -0.08$

按封闭环的下偏差

因为 $EI_0 = EI_2 - ES_3$ $-0.10 = -0.12 - ES_3$ 所以 $ES_3 = -0.02$

最后得出镗 $\phi 30H7$ 孔的工序尺寸为 $A_3 = 50 \begin{smallmatrix} -0.02 \\ -0.08 \end{smallmatrix} \text{ mm} = 49.95 \text{ mm} \pm 0.03 \text{ mm}$ 。

4) 验算封闭环尺寸公差

$$T_0 = 0.20 \text{ mm}$$

$$T_2 + T_3 = 0.14 \text{ mm} + 0.06 \text{ mm} = 0.20 \text{ mm}$$

所以 $T_0 = T_2 + T_3$,计算正确。

2. 中间工序的工序尺寸换算

(1) 从尚需继续加工表面标注的工序尺寸计算

在零件加工中,有些加工表面的定位基准是一些尚需继续加工的表面。当加工这些表面时,不仅要保证本工序对该加工表面的尺寸要求,同时还要间接保证从该加工表面标注的工序尺寸要求。此时就需进行工序尺寸的换算。

例题 3.6 图 3.37 所示为一齿轮内孔及键槽的简图。内孔尺寸为 $\phi 40 \begin{smallmatrix} +0.039 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{ mm}$ 键槽深度尺寸为 $43.3 \begin{smallmatrix} +0.2 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{ mm}$ 。有关内孔和键槽的加工顺序是:① 精镗内孔至 $\phi 39.6 \begin{smallmatrix} +0.062 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{ mm}$;② 插键槽深至尺寸 A_1 ;③ 热处理;④ 磨内孔至 $\phi 40 \begin{smallmatrix} +0.039 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{ mm}$ 。

从以上加工顺序可以看出,键槽尺寸 $43.3 \begin{smallmatrix} +0.2 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{ mm}$ 是间接保证的,也就是在完成

工序尺寸 $\phi 40^{+0.039}_0$ mm 后,最后自然形成的,所以 $43.3^{+0.2}_0$ mm 是封闭环,而 $\phi 39.6^{+0.062}_0$ mm 和 $\phi 40^{+0.039}_0$ mm 及工序尺寸 A_1 是加工时直接获得的尺寸,为组成环。

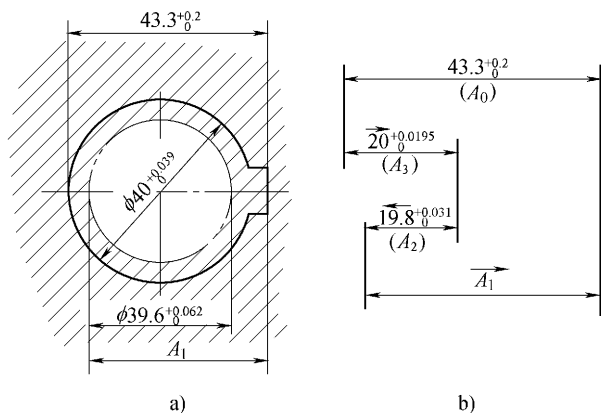


图 3.37 内孔及键槽加工的工艺尺寸链

解 1) 画出尺寸链简图,如图 3.37b)所示(注意:为了尺寸封闭,必须将孔的直径尺寸化成半径尺寸来表示)。

2) 判定封闭环、增环、减环。其中 $A_0 = 43.3^{+0.2}_0$ 为封闭环 A_1 、 A_3 为增环 A_2 为减环。

3) 按封闭环的基本尺寸计算

因为 $A_0 = A_3 + A_1 - A_2$ $43.3 = 20 + A_1 - 19.8$ $A_1 = 43.1$

按封闭环的上偏差

因为 $ES_0 = ES_3 + ES_1 - EI_2$ $0.2 = 0.0195 + ES_1 - 0$ $ES_1 = 0.1805$

按封闭环的下偏差

因为 $EI_0 = EI_3 + EI_1 - ES_2$ $0 = 0 + EI_1 - 0.031$ $EI_1 = 0.031$

最后求得插键时的工序尺寸为 $A_1 = 43.1^{+0.1805}_{+0.031}$ mm $\approx 43.13^{+0.15}_0$ mm。

4) 验算封闭环尺寸公差

$$T_0 = 0.2 \text{ mm}$$

$$T_1 + T_2 + T_3 = 0.1495 + 0.031 + 0.0195 = 0.20 \text{ mm}$$

所以 $T_0 = T_1 + T_2 + T_3$, 计算正确。

(2) 产品中有些零件表面需要进行渗碳或渗氮处理,而且在精加工后还要保证规定的渗层深度。为此必须正确地确定精加工前渗层的深度尺寸,所以也要进行类似的尺寸链换算。

例题 3.7 如图 3.38 所示为一衬套零件,孔径为 $\phi 145^{+0.04}_0$ mm 的表面需要渗氮,精加工后要求渗氮层深度 t_0 为 $0.3 \sim 0.5$ mm,令其深度为 $0.3^{+0.2}_0$ mm。该

表面的加工顺序为:①磨内孔至尺寸 $\phi 144.76^{+0.04}_0$ mm;②渗氮处理;③精磨孔至 $\phi 145^{+0.04}_0$ mm,并保证渗氮层深度 t_0 。试求工艺渗氮层深度 t_1 。

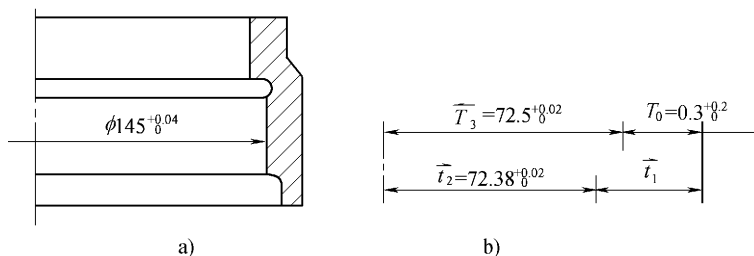


图 3.38 保证渗氮层深度的计算

解:1)画出尺寸链简图(为了尺寸封闭,必须将孔的直径尺寸化成半径尺寸来表示)如图 3.38b)所示。

2)确定封闭环、增环、减环。其中 t_0 为封闭环, t_1 、 $t_2 = 72.38^{+0.02}_0$ 为增环, $t_3 = 72.5^{+0.02}_0$ 为减环。

3)按封闭环的基本尺寸计算

因为 $t_0 = t_1 + t_2 - t_3$, $0.3 = t_1 + 72.38 - 72.5$, $t_1 = 0.42$

按封闭环的上偏差

因为 $ES_0 = ES_1 + ES_2 - EI_3$, $0.2 = ES_1 + 0.02 - 0$, $ES_1 = 0.18$

按封闭环的下偏差

因为 $EI_0 = EI_1 + EI_2 - ES_3$, $0 = EI_1 + 0 - 0.02$, $EI_1 = 0.02$

最后求得 $t_1 = 0.42^{+0.18}_{+0.02}$ mm

即工艺渗氮层深度为 $0.44 \sim 0.60$ mm。

4)验算封闭环尺寸公差

$T_0 = 0.2$ mm, $T_1 + T_2 + T_3 = 0.16$ mm + 0.02 mm + 0.02 mm = 0.20 mm

所以 $T_0 = T_1 + T_2 + T_3$, 计算正确。

3.3.4 工序尺寸的图解跟踪法

当零件的加工工序和同一方向的尺寸都较多,工序中工艺基准与设计基准又不重合,且需多次转换工艺基准时,工序尺寸及其公差的换算会很复杂。因为此时不仅组成尺寸链的各组成环有时不易分清,难以方便地建立工艺尺寸链,而且在计算过程中容易出错。如果采用图解跟踪法,就可以直观、简便地建立起尺寸链,且便于用计算机进行辅助计算。

例题 3.8 图 3.39a)所示零件,加工时轴向设计尺寸如图所示,其部分工序如下:①以大端面 E 定位车小端面 A ,尺寸为 A_1 , E 面留磨余量 0.2 mm;车外圆及台阶面 C ,尺寸为 A_2 (如图 3.39b)所示。②以台阶面 C 定位车内孔端面 D ,

尺寸为 A_3 , 镗孔车内端面 B , 尺寸为 A_4 , 如图 3.39c) 所示。③ 以小端面 A 定位磨大端面 E , 尺寸为 A_5 , 如图 3.39d) 所示。试确定各个工序尺寸及公差。

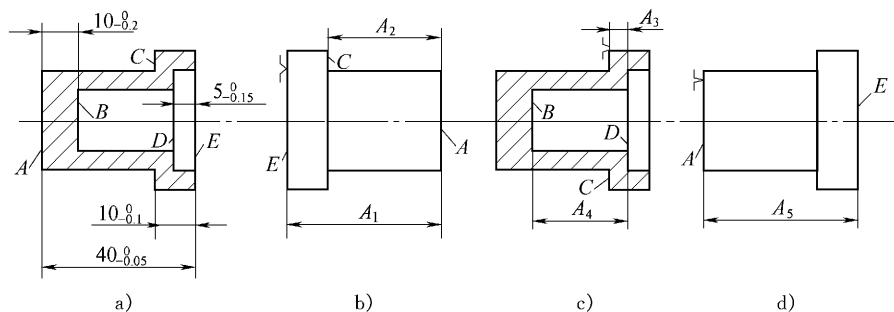


图 3.39 轴套零件简图及加工工序

现采用图解跟踪法来求解。其图解步骤如下：

(1) 跟踪图的绘制

1) 在上方画出工件简图(当零件形状为对称时,可只画出一半),标出与工艺尺寸链有关的设计尺寸,从有关表面向下引出表面线,代表不同加工工序中有余量区别的不同加工表面,如图 3.40 所示。

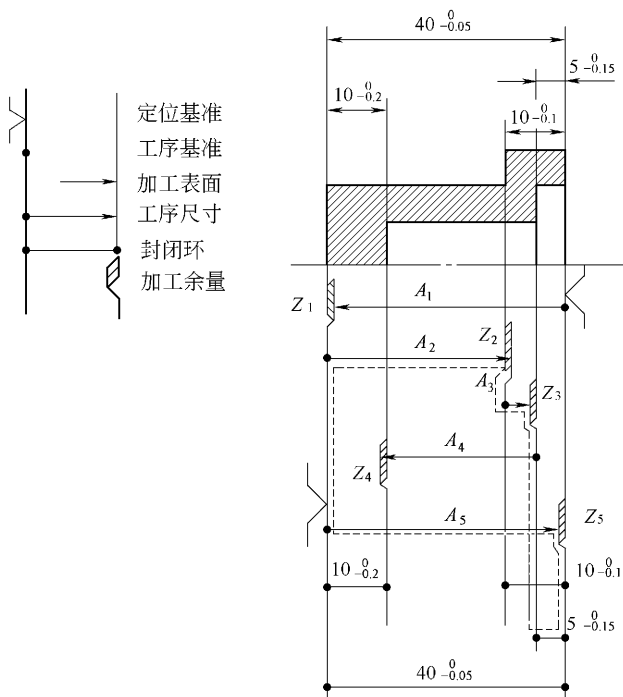


图 3.40 工艺尺寸链的图解跟踪法

2) 按图左上方规定的符号,按加工的先后顺序依次标出定位基准、工序基准、加工表面、工序尺寸及加工余量。加工余量的剖面线部分按“单向入体”方向标出。

3) 在下方标出零件图纸要求的尺寸。

(2) 图解跟踪查找工艺尺寸链的方法

1) 确定各封闭环及组成环 工序尺寸都是加工中直接得到的,是组成环。如 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 都是各尺寸链的组成环。设计要求尺寸一般都可以看成是间接得到的,是工艺尺寸链的封闭环。本例图纸的零件有四个要求尺寸,可以画出四个尺寸链。加工余量也是间接产生的,也是工艺尺寸链的封闭环。 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 都是封闭环,如有必要,也可画出相应的尺寸链。

2) 跟踪法查找尺寸链 从图纸设计尺寸或加工余量(封闭环)的两端出发,沿零件表面引线同时垂直向上跟踪,当遇到圆点时就通过继续向上跟踪,当遇到尺寸箭头时就沿箭头拐弯,经过该尺寸线到末端后垂直转弯继续向上跟踪,直至两条跟踪线在加工区内汇合封闭为止。

图 3.40 中的虚线就是以尺寸 $5_{-0.15}^0$ 为封闭环向上追踪所找到的一个工艺尺寸链。同时,可分别列出以各个设计尺寸和加工余量为封闭环的尺寸链,如图 3.41 所示。

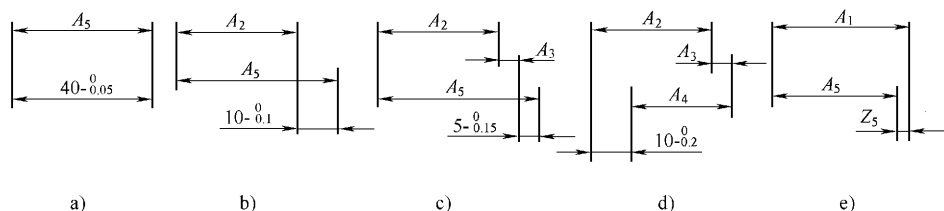


图 3.41 用跟踪法列出的尺寸链

3) 工序尺寸及其公差计算

① 按图 3.41 a) 所示的尺寸链,可直接得出 $A_5 = 40_{-0.05}^0$ mm。

② 解图 b) 所示的尺寸链:封闭环为 $10_{-0.1}^0$,增环为 $A_5 = 40_{-0.05}^0$ mm,减环为 A_2 。

$$A_0 = A_5 - A_2, 10 = 40 - A_2, \text{所以 } A_2 = 30$$

$$ES_0 = ES_5 - EI_2, 0 = 0 - EI_2, \text{所以 } EI_2 = 0$$

$$EI_0 = EI_5 - ES_2, -0.1 = -0.05 - ES_2, \text{所以 } ES_2 = 0.05 \text{ 即 } A_2 = 30_{+0.05}^0 \text{ mm}$$

③ 解图 c) 所示的尺寸链:封闭环为 $5_{-0.15}^0$,增环为 $A_5 = 40_{-0.05}^0$ mm,减环为

$$A_2 = 30_{+0.05}^0 \text{ mm}, A_3。$$

$$A_0 = A_5 - A_2 - A_3, 5 = 40 - 30 - A_3, \text{所以 } A_3 = 5$$

$$ES_0 = ES_5 - EI_2 - EI_3, 0 = 0 - 0 - EI_3, \text{所以 } EI_3 = 0$$

$EI_0 = EI_5 - ES_2 - ES_3$, $-0.15 = -0.05 - 0.05 - ES_3$, 所以 $ES_3 = 0.05$ 即 $A_3 = 5^{+0.05}_0$ mm

④ 解图 d) 所示的尺寸链 : 封闭环为 $10^{+0.05}_{-0.2}$, 增环为 $A_2 = 30^{+0.05}_0$ mm , $A_3 = 5^{+0.05}_0$ mm , 减环为 A_4 。

$A_0 = A_2 + A_3 - A_4$, $10 = 30 + 5 - A_4$, 所以 $A_4 = 25$

$ES_0 = ES_2 + ES_3 - EI_4$, $0 = 0.05 + 0.05 - EI_4$, 所以 $EI_4 = 0.1$

$EI_0 = EI_2 + EI_3 - ES_4$, $-0.2 = 0 + 0 - ES_4$, 所以 $ES_4 = 0.2$ 即 $A_4 = 25^{+0.2}_{+0.1}$ mm

⑤ 解图 e) 所示的由余量组成的尺寸链 : 封闭环为余量 Z_5 , 增环为 A_1 , 减环为 A_5 。

$A_0 = A_1 - A_5$, $0.2 = A_1 - 40$, 所以 $A_1 = 40.2$

取加工精度为 IT9 级 , 则 $A_1 = 40.2^{+0}_{-0.062}$ mm。

余量 Z_5 的校核 : $Z_{5\max} = 0 - (-0.05) = 0.05$, $Z_{5\min} = -0.062 - 0 = -0.062$

即余量 $Z_5 = 0.138 \sim 0.25$ mm , 合理。

答 : 各工序尺寸为 : $A_1 = 40.2^{+0}_{-0.062}$ mm , $A_2 = 30^{+0.05}_0$ mm , $A_3 = 5^{+0.05}_0$ mm , $A_4 = 25^{+0.2}_{+0.1}$ mm , $A_5 = 40^{+0}_{-0.05}$ mm。

3.4 成组技术(GT)

3.4.1 概述

成组技术(Group Technology)是在长期生产实践中总结出来的先进技术 , 是提高多品种、中小批量生产经济效益的一种有效方法。

在机械制造业中 , 中小批量生产占有较大的比重。随着国内外市场竞争的日益加剧和科技水平的飞跃发展 , 要求产品不断改进和更新。因此 , 多品种小批量生产的方式还将有继续增长的趋势。但是 , 传统的小批量生产方式不能适应生产进一步发展的需要 , 因为它存在着以下一些问题 : ① 产量小 , 生产周期长 , 限制了先进技术的采用 , 因而生产率低。② 生产准备工作量大 , 无法提高生产率。③ 生产计划、组织管理复杂化 , 很难实现科学管理。

大量的统计资料表明 , 各种机械产品的组成零件大致可以分为复杂件(或称重要件)、相似件和标准件三大类。复杂件(如机床床身、主轴箱等) 结构复杂 , 产值高 , 数量少 , 约占零件总数的 5% ~ 10%。相似件(如轴、套、齿轮、支座、盖板等) 品种多、数量大、结构多属中等复杂程度 , 约占零件总数的 70%。这些相似件之间在结构形状和加工工艺方面存在着大量的相似特征。标准件(螺栓、螺母、销、键等) 结构简单 , 多为低值件 , 一般已组织大量生产。

如图 3.42a) 所示的相似件, 从结构上同为回转体, 且都有孔, 属轴套类, 加工时都可采用车削、磨削和螺纹加工; 图 3.42b) 中的相似件属于平面上有孔的零件, 可采用车、铣、钻、磨的加工方法。

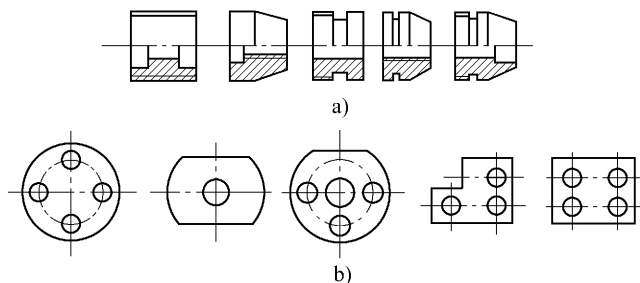


图 3.42 相似件

成组技术正是将企业中品种众多的零件按其结构相似、尺寸相似和工艺相似进行分类以形成零件组, 把同一零件组中诸零件原先分散的小的批量汇集成较大的成组批量, 这样就把原先的多品种转化为少品种, 小批量转化为大批量, 从而使小批量生产能获得接近大批量生产的技术经济效益。这就是成组技术在机械加工方面的应用。除此之外, 成组技术在产品设计和生产组织管理方面也得到了很好的应用, 并取得一定的综合经济效益。

随着计算机技术和数控技术的飞速发展, 成组技术与之相结合, 大大推动了中小批量生产的自动化进程。成组技术成了进一步发展计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工艺过程设计 (CAPP)、计算机辅助制造 (CAM) 和柔性制造系统 (FMS) 等方面的重要的技术基础。

3.4.2 零件分类编码系统

零件分类编码系统是用字符 (数字、字母或符号) 对零件各有关特征进行描述和标识的一套特定的规则和依据。它是成组技术的重要组成部分, 也是实施成组技术的重要手段。因此在实施成组技术的过程中, 必须首先建立相应的零件分类编码系统, 然后应用这个编码系统, 使零件的有关信息代码化, 对零件进行分类分组, 以便进一步以成组的方式组织生产。其最大优点是便于应用计算机进行数据处理。

零件的分类码反映了零件固有的名称、功能、结构、形状和工艺特征等信息。不同的零件可以拥有相同或接近的分类码, 因此, 就能划分出结构相似或工艺相似的零件组来。常见的分类法有奥匹兹 (Apitz) 分类系统和我国的 JLBM-1 (JB/Z51—85) 等。

JLBM-1 即“机械零件分类编码系统”, 是由原机械工业部组织制定并批准

施行的成组技术指导性技术文件。它采用主码和辅码分段的混合式结构,由 15 个码位组成,如图 3.43 所示。

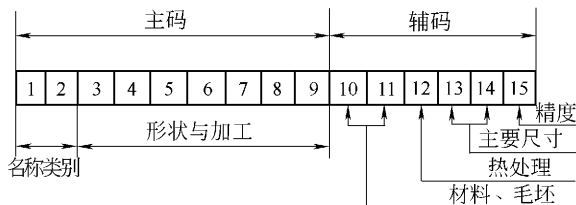


图 3.43 JLBM-1 系统的基本结构

该系统的 1、2 码位表示零件的名称类别,它采用零件的功能和名称作为标志,以便设计部门检索。为了增加分类标志的容量,1、2 码位的特征码采用矩阵表的形式,如表 3.13 所示。

表 3.13 JLBM-1 分类系统的名称类别矩阵表(第一、第二位)

第二位 第一位			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	回转类零件	轮盘类	盘、盖	防护盖	法兰盘	带轮	手轮 捏手	离合器 器体	分度盘 刻度盘 环	滚轮	活塞	其他	0
1		环套类	垫圈片	环、套	螺母	衬套 轴套	外螺纹 套直管 接头	法兰套	半联 轴节	油缸 气缸		其他	1
2		销、杆、轴类	销、堵 短圆柱	圆杆 圆管	螺杆 螺栓 螺钉	阀杆 阀芯 活塞杆	短轴	长轴	蜗杆 丝杠	手把 手柄 操纵杆		其他	2
3		齿轮类	圆柱 外齿轮	圆柱 内齿轮	锥齿轮	蜗轮	链轮 棘轮	螺旋 锥齿轮	复合 齿轮	圆柱 齿条		其他	3
4		异形件	异形 盘套	弯管接 头弯头	偏心件	扇形件 弓形件	叉形接 头叉轴	凸轮 凸轮轴	阀体			其他	4
5		专用件										其他	5
6	非回转类零件	杆条类	杆、条	杠杆 摆杆	连杆	撑杆 拉杆	扳手	键镶 (压)条	梁	齿条	拨叉	其他	6
7		板块类	板、块	防护板 盖板 门板	支承板 垫板	压板 连接板	定位块 棘爪	导向 块、板 滑块板	阀块 分油器	凸轮板		其他	7
8		座架类	轴承座	支座	弯板	底座 机架	支架					其他	8
9		箱壳体类	罩、盖	容器	壳体	箱体	立柱	机身	工作台			其他	9

3~9 码位是形状及加工码,分别表示回转体零件和非回转体零件的外部形状、内部形状、平面、孔及其加工与辅助加工的种类(表 3.14,表 3.15)。10~15 码位是辅助码,表示零件的材料、毛坯、热处理、主要尺寸精度的特征。尺寸码规定了大型、中型和小型三个尺寸组,分别供重型机械、一般通用机械和仪表机械等三种类型的企业参照使用(表 3.16,表 3.17)。

图 3.44 所示为回转体零件编码实例。

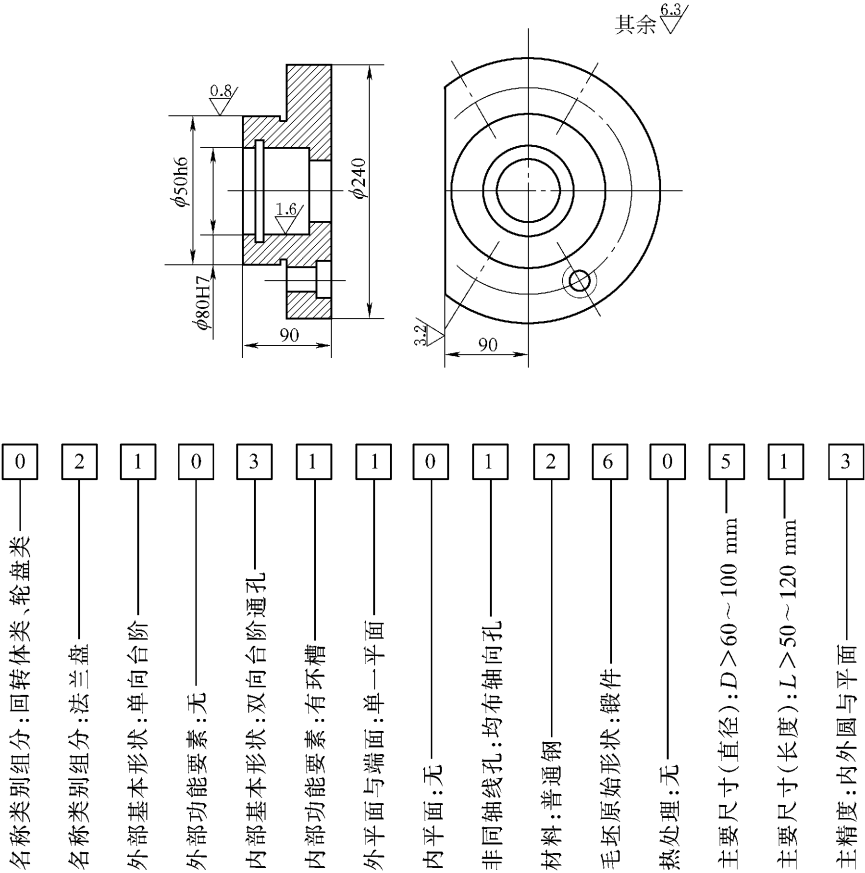


图 3.44 回转体零件编码实例

表 3.14 回转体类零件分类表(第三~九位)

码位	三	四	五	六	七	八	九
特征	外部形状及加工		内部形状及加工		平面、曲面加工		
项号	基本形状	功能要素	基本形状		功能要素	外(端)面	内面
0	光滑	0 无	0 无轴线孔	0 无	0 无	0 无	0 无
1	单向台阶	1 环槽	1 非加工孔	1 环槽	1 环槽	1 单一平面 不等分平面	1 均布孔
2	双向台阶	2 螺纹	2 光滑 单向台阶	2 螺纹	2 螺纹	2 平行平面 等分平面	2 轴向
3	球、面	3 1+2	3 双向台阶	3 1+2	3 槽、键槽	3 槽、键槽	3 非均布孔
4	正多边形	4 锥面	4 单侧	4 锥面	4 花键	4 花键	4 轴向
5	非圆对称 截面	5 1+4	5 双侧	5 1+4	5 齿形	5 齿形	5 倾斜孔
6	弓、扇形或 4、5 以外	6 2+4	6 球、曲面	6 2+4	6 2+5	6 3+5	6 各种孔组合
7	平行轴线	7 1+2+4	7 深孔	7 1+2+4	7 3+5 或 4+5	7 4+5	7 成形
8	弯曲、相 交轴线	8 传动螺纹	8 相交孔 平行孔	8 传动螺纹	8 曲面	8 曲面	8 机械刻线
9	其他	9 其他	9 其他	9 其他	9 其他	9 其他	9 其他

表 3.15 非回转体类零件分类表(第三~九位)

代码	三	四	五	六	七	八	九
特征	外形形状及加工				主孔、内部形状及加工		辅助加工 (辅助孔、成形)
项号	总体形状	平面加工		曲面加工	主孔及要素加工		
0	无弯曲	0	无	0	无	0	无
1	轮廓边缘由直线组成	1	一侧平面及台阶平面	1	回转面加工	1	光滑、单向台阶或单向盲孔
2	板或条与圆柱体组合	2	二侧平行平面及台阶平面	2	回转定位槽	2	双向台阶或双向盲孔
3	轮廓边缘由直线或曲线组成	3	直交面	3	一般曲线沟槽	3	平行轴线
4	板或条与圆柱体组合	4	斜交面	4	简单曲面	4	垂直或相交轴线
5	形状	5	二个侧平面(即四面需加工)	5	复合曲面	5	单一轴线
6	有分离面	6	2+3或3+5	6	1+4	6	多轴线
7	矩形体组合	7	六个平面需加工	7	2+4	7	单一轴线
8	壳形分离面	8	斜交面	8	3+4	8	多轴线
9	其他	9	其他	9	其他	9	其他

表 3.16 材料、毛坯、热处理分类表(第十 ~ 十二位)

代码	十位	十一位	十二位
项目	材料	毛坯原始形状	热处理
0	灰铸铁	棒材	无
1	特殊铸铁	冷拉材	发蓝
2	普通碳钢	管材(异形管)	退火、正火及时效
3	优质碳钢	型材	调质
4	合金钢	板材	淬火
5	铜和铜合金	铸件	高、中、工频淬火
6	铝和铝合金	锻件	渗碳 + 4 或 5
7	其他有色金属及其合金	铆焊件	渗氮处理
8	非金属	铸塑成型件	电镀
9	其他	其他	其他

表 3.17 主要尺寸、精度分类表(第十三 ~ 十五位)

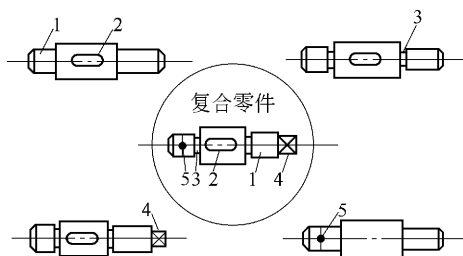
十三				十四			十五		
项目	主要尺寸						项目	精 度	
	直径或宽度 D 或 B /mm			长度 L 或 A /mm					
	大型	中型	小型	大型	中型	小型			
0	≤14	≤8	≤3	≤50	≤18	≤10	0	低精度	
1	>14 ~ 20	>8 ~ 14	>3 ~ 6	>50 ~ 120	>18 ~ 30	>10 ~ 16	1	中等精度	内外回反面加工
2	>20 ~ 58	>14 ~ 20	>6 ~ 10	>120 ~ 250	>30 ~ 50	>16 ~ 25	2		平面加工
3	>58 ~ 90	>20 ~ 30	>10 ~ 18	>250 ~ 500	>50 ~ 120	>25 ~ 40	3		1 + 2
4	>90 ~ 160	>30 ~ 58	>18 ~ 30	>500 ~ 800	>120 ~ 250	>40 ~ 60	4	高精度	外回反面加工
5	>160 ~ 400	>58 ~ 90	>30 ~ 45	>800 ~ 1 250	>250 ~ 500	>60 ~ 85	5		内回反面加工
6	>400 ~ 630	>90 ~ 160	>45 ~ 65	>1 250 ~ 2 000	>500 ~ 800	>85 ~ 120	6		4 + 5
7	>630 ~ 1 000	>160 ~ 440	>65 ~ 90	>2 000 ~ 3 150	>800 ~ 1 250	>120 ~ 160	7		平面加工
8	>1 000 ~ 1 600	>440 ~ 630	>90 ~ 120	>3 150 ~ 5 000	>1 250 ~ 2 000	>160 ~ 200	8		4 或 5、或 6 加 7
9	>1 600	>630	>120	>5 000	>2 000	>200	9		超高精度

3.4.3 成组工艺过程的设计

1. 复合零件法

复合零件法(或样件法)是按照零件组中的复合零件来设计工艺规程的方法。所谓复合零件是拥有同组零件的全部待加工表面要素的一个零件。它可以是零件组中实际存在的某个具体零件,也可以是一个假设的零件。由于它包含了组内其他零件所具有的全部待加工表面要素,所以按复合零件设计的成组工艺,只要从中删除一些不为某一零件所用的工序或工步内容,便能为组内所有零件使用,形成各个零件的加工工艺。图 3.45a)所示的一零件组由 4 个零件组成,其复合零件包含了 4 个零件所具有的 5 种加工表面要素。根据这个复合零件设计的成组工艺见图 3.45b)。

2. 复合路线法



a) 零件组及其复合零件

零件图	工艺过程
复合零件 	C1 - C2 - XJ - X - Z
	C1 - C2 - XJ
	C1 - C2 - XJ
	C1 - C2 - XJ - X
	C1 - C2 - Z

b) 工艺过程

图 3.45 按复合零件法设计成组工艺的例子

1—外圆柱面 2—键槽 3—功能槽 4—平面 5—辅助孔

C1—车 C2—调头车 XJ—铣键槽 X—铣 Z—钻

对于非回转体类零件,由于其形状不规则,为某一零件组找出它的复合零件常常十分困难,所以上述复合零件法一般仅适用于回转体零件。而非回转体零件,常采用复合路线法。

复合路线法是在零件分类成组的基础上,把同组零件的工艺路线作一比较,以组内最复杂零件的工艺路线为基础,然后将此路线与组内其他零件的工艺路线相比较,凡组内其他零件需要而作为代表的工艺路线中没有的工序,一一添上,最终形成一个能满足全组零件要求的成组工艺。图 3.46 是按复合路线法设计成组工艺的例子。

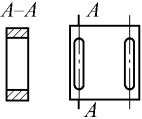
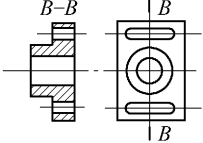
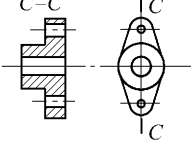
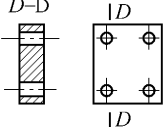
本组零件图	工艺路线
	X1 - X2 - Z - X
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 选作代表路线: X1 - C - Z - X </div>
	X1 - C - Z
	X1 - X2 - Z
本组零件的复合工艺路线 (在代表路线中补入所缺的 X2 工序)	X1 - X2 - C - Z - X

图 3.46 按复合路线法设计成组工艺的例子

X1—铣平面 X2—铣另一平面 C—车 Z—钻 X—铣槽

3.4.4 成组生产组织形式

1. 成组生产单元

在一组机床上完成一个或几个工艺相似零件组的全部工艺过程,该组机床即构成一个封闭的生产单元。成组生产单元与传统的小批量生产下的“机群式”排列的生产工段不同。生产工段只能完成零件的某些工序,而成组生产单元却能完成一定零件组的全部工艺过程。图 3.47 为成组生产单元的平面布置

示意图。单元内的机床基本上是按零件组的统一工艺路线排列的,但又不受生产节拍的限制,即零件可以在单元内任意流动,因此具有一定的灵活性。用成组单元组织生产,缩短了工序间的运输距离,减少了在制品库存量,缩短了零件的生产周期,从而降低了生产成本;同时单元内的工人趋向专业化,加工质量稳定,效率高。所以成组生产单元是一种较好的生产组织形式。

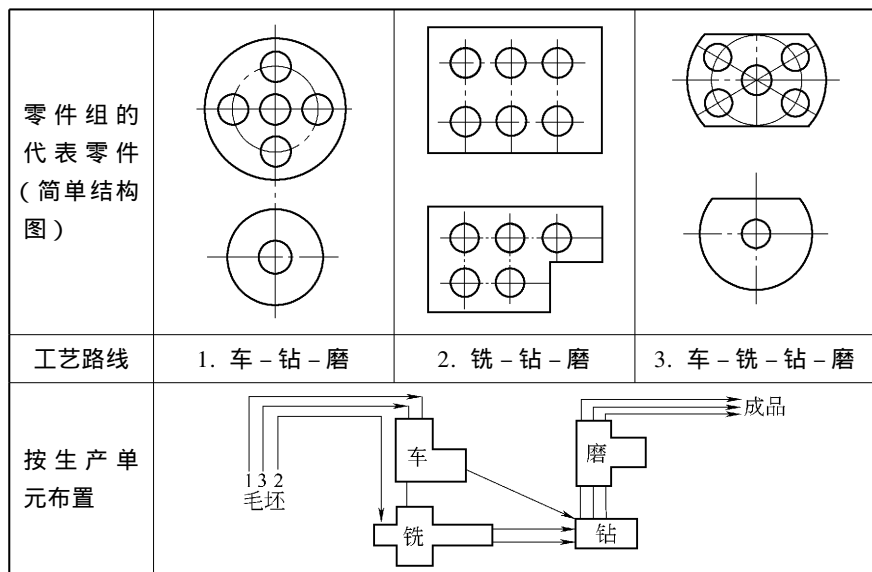


图 3.47 成组生产单元的平面布置示意图

2. 成组流水线

当一组工艺相似程度很高的零件的产量较大时,可以在一条流水生产线上加工,称为成组流水线。零件在线上用相接近的节拍单向流动,工作过程连续且有一定的节奏,因此它具有一般流水线的大部分优点。与一般流水线相比,所不同之处在于它只要经过少量的调整就能加工组内的不同零件,即它加工的不是一种零件而是一组零件。对某一种零件来说,不一定经过线上的每一台机床。这种生产方式仅适用于少数产量较大的工艺相似的成组零件。

成组技术扩大了同类型零件的生产批量,使多品种中小批量生产可使用高效的设备、工艺装备和生产组织形式,从而提高了生产率。同时加工专业化程度提高,加工质量稳定、可靠。采用成组技术,改变了多品种中小批量生产的落后状态,为实现计算机管理生产创造了条件。

3.5 计算机辅助机械加工工艺规程设计

CAPP(Computer Aided Process Planning)是计算机辅助工艺规程设计的简称。工艺规程设计是生产技术准备工作的第一步,也是连接产品设计与产品制造之间的桥梁,因此是生产中的关键工作。

当代机械制造领域中,由于新工艺新技术的飞速发展,社会需求趋向多样化。市场竞争激烈,迫使产品更新周期日益缩短。多品种小批量生产的企业大量增加,制造系统正逐渐从刚性(高效率的大批量生产模式)向柔性(高效率多品种小批量生产模式)转变,这要求将计算机技术贯穿于产品策划、设计、工艺规划、制造与管理的全过程。显然,传统的手工艺设计方法已不能满足上述要求。

高速发展的计算机技术为工艺设计的自动化奠定了基础。计算机能有效地管理大量数据库,进行快速、准确的计算,进行各种形式的比较和选择,自动绘图,编制表格文件和提供便利的编辑手段等。计算机的这些优势正好是工艺设计所需要的,于是计算机辅助工艺设计(CAPP)便应运而生。CAPP 系统不但能利用工艺人员的经验知识和各种工艺数据进行科学决策,自动生成工艺规程,还能自动计算工艺尺寸,绘制工序图,选择切削参数和对工艺设计结果进行优化等,从而设计出一致性良好的、高质量的工艺规程,也使工艺设计与 CAD、CAM 乃至 MIS 等系统的集成成为可能。另外,由于计算机中存储的信息可以反复利用,从而大大提高了工艺设计的效率。

3.5.1 CAPP 的发展概况

世界上最早研究 CAPP 的国家是挪威,始于 1966 年,并于 1969 年正式推出世界上第一个 CAPP 系统 AUTOPROS,1973 年正式推出商品化 AUTOPROS 系统。美国是 20 世纪 60 年代末 70 年代初开始研究 CAPP 的,并于 1976 年由 CAM-I 公司推出颇具影响力的 CAM-I 'S Automated Process Planning 系统。从 20 世纪 60 年代末到目前的 30 多年期间,已研制出很多 CAPP 系统,而且不少系统已投入生产实践使用。

早期的 CAPP 系统多数是在成组技术基础上开发的检索型系统,其中较著名的除 CAM-I 的系统外,还有英国曼彻斯特大学理工学院(UMIST)的 ICAP 系统和 AUTOCAP 系统、美国制造数据公司(MDSI)的 COMCAPP-V 系统、工业研究组织(OIR)的 MIPLAN 系统等。

为了克服检索型 CAPP 系统的缺点,许多学者自 20 世纪 70 年代开始研究创成型 CAPP 系统,并正式推出了一些系统,如美国普渡大学在 1977 年开发的

APPAS 系统、德国阿亨工业大学在 1980 年开发的 AUTAP 系统、柏林大学在 1982 年开发的 CAPSY 系统等。但由于工艺规程涉及的因素复杂,多数创成型系统都属于研究阶段的原型系统。

从 20 世纪 80 年代中期开始,人工智能技术已被引入创成型 CAPP 系统的开发研究,出现 CAPP 专家系统,或称为智能型 CAPP 系统。在每年有关的国际会议和学术刊物上已发表不少 CAPP 专家系统的研究论文,智能 CAPP 系统已成为重要的发展趋势,并为此召开专门的学术会议。

从 20 世纪 80 年代初起,我国一些高等院校和工厂在推广和应用成组技术的基础上,也开始研究和开发 CAPP 系统。较早进行这项研究工作的是上海同济大学,他们在 1982 年研制成功了 TOJICAP 系统,并通过了国家教委组织的鉴定,1985 年在国际 CIRP 会议上正式发表。随后北京理工大学也研制出适用于车辆中回转体零件的 BITCAPP 系统,北京航空航天大学提出了 BHCAP 系统,还有一些高等院校和工厂合作研制的 CAPP 系统也相继获得成功。

3.5.2 CAPP 系统的结构与功能

1. CAPP 系统的基本结构

尽管 CAPP 系统的种类很多,但其基本结构离不开零件信息的输入、工艺决策、工艺数据库/知识库、人机界面与工艺文件管理与输出等五大部分。

1) 零件信息的输入 零件信息是系统进行工艺设计的对象和依据,计算机目前还不能像人一样识别零件图上的所有信息,所以在计算机内部必须有一个专门的数据结构来对零件信息进行描述,如何输入和描述零件信息是 CAPP 最关键的问题之一。

2) 工艺决策 工艺决策是系统的控制指挥中心,它的作用是:以零件信息为依据,按预先规定的顺序或逻辑,调用有关工艺数据或规则,进行必要的比较、计算和决策,生成零件的工艺规程。

3) 工艺数据/知识库 工艺数据/知识库是系统的支撑工具,它包含了工艺设计所要求的所有工艺数据(如加工方法、余量、切削用量、机床、刀具、夹具、量具、辅具以及材料、工时、成本核算等多方面的信息)和规则(包括工艺决策逻辑、决策习惯、经验等众多内容,如加工方法选择规则与排序规则等)。如何组织和管理这些信息,并便于使用、扩充和维护,使之适用于各种不同的企业和产品,是当今 CAPP 系统需要迫切解决的问题。

4) 人机界面 人机界面是用户的工作平台,包括系统菜单、工艺设计的界面、工艺数据/知识的输入和管理界面,以及工艺文件的显示、编辑与管理界面等。

5) 工艺文件管理与输出 一个系统可能有成百上千个工艺文件,如何管理

和维护这些文件既是 CAPP 系统的重要内容,也是整个 CAD/CAPP/CAM 集成系统的重要组成部分。输出部分包括工艺文件的格式化显示、存盘、打印等。系统一般能输出各种格式的工艺文件,有些系统还允许用户自定义输出格式,有些系统还能直接输出零件的 NC 程序。

2. CAPP 系统的功能

从国内外已发表的 CAPP 系统可以看出,它们主要具有以下功能:1)接收输入的零件图上的几何及拓扑信息、工艺信息和测量信息;2)检索标准工艺文件;3)选择加工方法;4)安排加工路线;5)选择机床、刀具、夹具等;6)选择切削用量;7)计算切削参数、加工时间和加工费用等;8)进行工艺流程的优化及多工序、单工序切削用量的优化;9)确定工序尺寸和公差及选择毛坯等;10)绘制工序图;11)产生刀具运动轨迹,自动进行 NC 编程;12)模拟加工过程,显示刀具运动轨迹。其中有些功能是所有的 CAPP 系统都具备的,而有些功能则是部分系统所具备的。要以上全部功能都实现自动化是一个长期而艰巨的任务,只能逐步去发展。另外,现在只有少数 CAPP 系统能与 CAD、CAM 系统相连接。

3.5.3 CAPP 基本原理

CAPP 从原理上讲,有三种工艺设计方法,即派生法、创成法和人工智能方法(专家系统)。

1. 派生法

派生型 CAPP 系统是在成组技术的基础上,按零件分类成组,建立相似零件族或加工组,并给每一个零件族制定一个能加工族中全部零件的优化工艺方案,称为零件族的复合工艺规程,也有人称它为零件族的典型工艺规程或标准工艺规程。这个复合工艺规程以文件形式存储在计算机中。如果零件族是按零件的分类编码系统建立的,则在计算机中还储存有按分类编码系统建立起来的零件族分类特征矩阵。当需要给零件编制工艺规程时,首先按所用的分类编码系统对零件进行编码并输入计算机。计算机根据输入的零件代码搜索零件族特征矩阵库,确定该零件属于哪个零件族。然后再输入零件的特征数据信息和工艺文件的标题信息,系统根据零件族代码和特征信息,检索出零件族的标准工艺文件和工序文件,并进行编辑。编辑好的工艺规程在输出前如果觉得不满意,系统允许进行人机交互式的修改和再编辑,直至满意后再打印输出。这类系统的针对性强,一般只适用于特定的企业,移植不便。但系统结构简单,开发周期短,投资少,易于在生产中取得实效。图 3.48 表示派生法 CAPP 系统的工作过程。

2. 创成法

创成型 CAPP 系统不以对标准工艺规程的检索和修改为基础,而是由计算机软件系统,根据加工能力知识库和工艺数据库中加工工艺信息和各种工艺决

策逻辑,自动设计出零件的工艺规程。有关零件的信息可直接从 CAD 系统中获得。

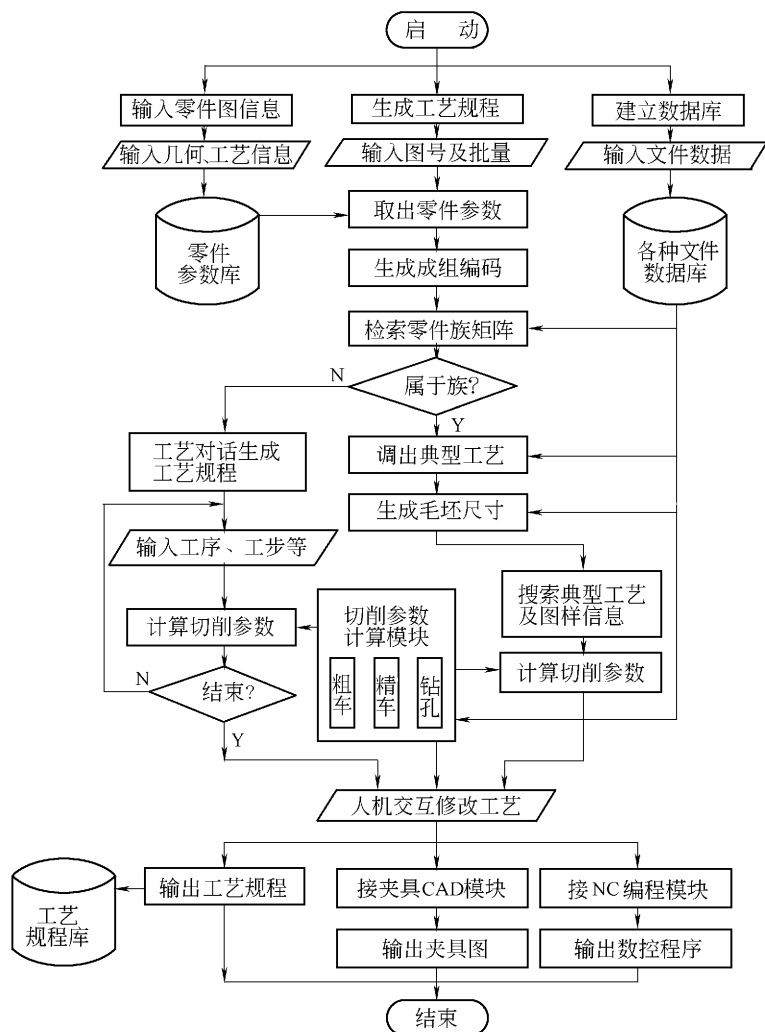


图 3.48 派生法 CAPP 系统的工作过程

这种方法在原理上较理想,就是让计算机模仿工艺人员的逻辑思维,自动进行各种决策,选择零件的加工方法,安排工艺路线,选择机床、刀具、夹具,计算切削参数和加工时间、加工成本,以及对工艺过程进行优化等。人的任务仅在于监督计算机的工作,并在计算机决策过程中作一些简单问题的处理,对中间结果进行判断和评估等。

实现完全创成型的 CAPP 系统,必须解决三个关键问题:1)零件的信息必须要用计算机能接受的形式完全准确地描述。2)收集大量的工艺决策逻辑和工艺规程设计逻辑,并以计算机能识别的方式存储。3)工艺规程的设计逻辑和零件信息的描述必须在统一的加工数据库中。要做到这三点,目前技术上还有一定困难。这是因为:1)零件图纸上的各种信息要完全准确地描述还存在困难。2)工艺知识是一种经验型知识,如何建立完善的工艺决策模型,使计算机能够识别、处理还有待进一步解决。3)工艺过程的优化理论还不完善,对此尚无严格的理论和数学模型。

要实现完全的创成型 CAPP 系统目前还有困难,创成型 CAPP 系统这个名词还不具有精确的定义,而是通融为一个不大完整的概念,即只要带有工艺决策逻辑的系统就被称为是创成型 CAPP 系统。这是不以原有的工艺规程为基础,而在计算机软件系统中收集了大量工艺数据和加工知识,并在此基础上建立了一系列的决策逻辑,形成了工艺数据库和加工知识库。当输入新零件的有关信息后,系统可以模仿工艺人员,应用各种工艺决策逻辑规则,在没有人工干预的条件下,自动地生成零件的工艺规程。这类系统结构庞大且复杂,编程工作量大,开发费用高。因此,该类系统的开发多数处于研究阶段,在生产中实用的尚不多见。

3. 人工智能法(专家系统)

智能型 CAPP 系统大多以专家系统的形式出现。所谓专家系统是在特定领域里具有与该领域的人类专家相当的智能水平的计算机知识处理软件系统。

CAPP 专家系统主要由零件信息输入模块、知识库及推理机三部分组成,其中知识库和推理机是相互独立的。CAPP 专家系统不再像一般 CAPP 系统那样在程序的运行中直接生成工艺规程,而是根据输入的零件描述信息去频繁地访问知识库,并通过推理机的控制策略,从知识库中搜索能够处理零件当前状态的规则,然后执行这条规则,并把每一次执行规则得到的结论部分按先后次序记录下来,直到零件加工达到终结状态,这个记录就是零件加工所要求的工艺规程。

CAPP 专家系统是以知识结构为核心,按数据、知识、控制三级结构来组织系统,其知识库和推理机相互分离,这就增加了系统的灵活性。当生产环境有变化时,可通过修改知识库来加进新规则,使之适应新的要求,因而解决问题的能力大为加强。

CAPP 专家系统能处理多义性和不确定的知识,可以在一定程度上达到模拟人脑进行工艺设计,使工艺设计中很多模糊问题得以解决。特别是对箱体、壳体等复杂零件的工艺设计,由于它们结构形状复杂,加工工序多,工艺流程长,而且可能存在多种加工方案,工艺设计的优劣主要取决于人的经验和智慧,因此采用一般原理设计的 CAPP 系统很难满足它们的工艺设计要求,而 CAPP 专家系

统能汇集众多工艺专家的知识和经验,并充分利用这些知识,进行逻辑推理,探索解决问题的途径和方法,因而能给出合理,甚至最优的工艺决策。

3.6 机器装配工艺规程设计

3.6.1 装配工艺方法

1. 装配的概念

任何机械产品都是由许多零件和部件组成的。根据规定的技术要求,将零件或部件进行配合和连接,使之成为半成品或成品的工艺过程称为装配。

零件是构成机械产品最基本的单元。将若干零件配合、连接在一起,成为机械产品的某一组成部分(即部件),这一装配工艺过程称为部装。将零件和部件进一步装配成最终产品的过程称为总装。

产品的装配是分级进行的,通常把直接进入产品总装配的称为部件,直接进入部件装配的称为组件;根据需要,组件又可分为一级分组件、二级分组件等。机械产品结构越复杂,分组件的级数就越多。

2. 装配工作的主要内容

装配不仅仅是将合格零件简单地连接起来的过程,而是要通过一系列的装配工艺措施,才能保证达到产品质量的要求。常见的装配工作包括清洗、连接、校正调整、配作、平衡、验收以及油漆、包装等内容。装配是整个机械制造工艺过程中的最后一个环节。装配工作对产品质量影响很大。若装配不当,即使所有零件都合格,也不一定能装配出合格的机械产品。反之,若零件制造精度并不高,而在装配中采用适当的工艺方法,如进行选配、修配、调整等,也能使产品达到规定的要求。因此,合理的装配工艺规程,可提高装配质量和装配劳动生产率。

3. 装配精度

装配精度是产品设计时根据使用性能要求规定的、装配时必须保证的质量指标。产品的装配精度一般包括:零部件间的相互距离精度、位置精度和相对运动精度及接触精度等。

1) 相互距离精度 相互距离精度指相关零部件间的距离尺寸精度,包括间隙、过盈等配合要求。例如卧式车床主轴中心线与尾座套筒中心线之间等高度即属此项精度。

2) 相互位置精度 装配中的相互位置精度是指产品中相关零件间的平行度、垂直度、同轴度及各种跳动等。

3) 相对运动精度 相对运动精度是指产品中相对运动的零部件间在运动

方向和相对运动速度上的精度,主要表现为回转运动精度、直线运动精度和传动运动精度。

4) 接触精度 接触精度是指相互配合表面、接触表面间接触面积的大小和接触点的分布情况。如齿轮啮合、锥体与锥孔配合及导轨副间均有接触精度要求。

4. 装配精度与零件精度的关系

机械产品是由众多零部件组成,装配精度与相关零部件制造误差的累积有关。显然装配精度首先取决于相关零部件的精度,特别是关键零部件的精度。例如卧式车床的尾座移动对床鞍移动的平行度,就主要取决于床身导轨 A 与 B 的平行度(见图 3.49);又如车床主轴中心线与尾座套筒中心线的等高度 A_0 ,就主要取决于主轴箱、尾座及底板的 A_1 、 A_2 及 A_3 的尺寸精度(见图 3.50)。

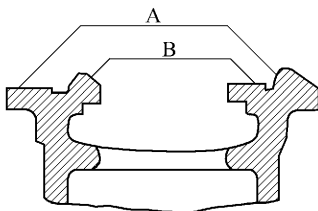


图 3.49 床身导轨简图

A—床鞍移动导轨 B—尾座移动导轨

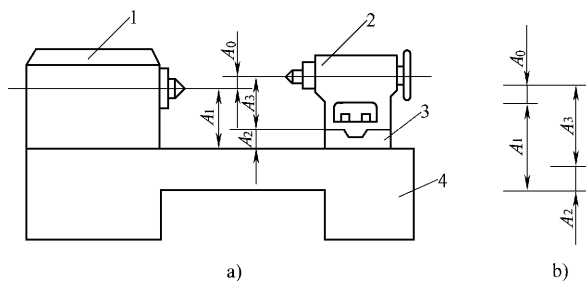


图 3.50 卧式车床主轴中心线与尾座套筒中心线等高示意图

1—主轴箱 2—尾座 3—底板 4—床身

其次,装配精度的保证还取决于装配方法,在单件小批生产及装配精度要求很高时装配方法尤为重要。如图 3.50 所示的等高度 A_0 的精度要求是很高的,如果靠控制尺寸 A_1 、 A_2 及 A_3 的精度来达到 A_0 的精度是很不经济的。实际生产中常按经济精度来制造相关零部件尺寸 A_1 、 A_2 及 A_3 ,装配时则采用修配底板 3 的工艺措施保证等高度 A_0 的精度。装配中采用不同的工艺措施,会形成各种不

同的装配方法。不同的装配方法,装配精度与零件精度具有不同的关系,装配尺寸链是定量分析这一关系的有效手段。

5. 装配尺寸链

(1) 装配尺寸链的概念

产品或部件在装配过程中,由相关零部件上的有关尺寸(表面或中心线间距离)或相互位置关系(平行度、垂直度或同轴度等)所组成的尺寸链称为装配尺寸链,如图 3.50b)所示。这些相关零部件上的尺寸(或位置关系)是尺寸链的组成环,如 A_1 、 A_2 、 A_3 ,而装配精度要求常常就是封闭环,如 A_0 。显然,封闭环不是一个零件或一个部件上的尺寸,而是不同零部件表面或中心线之间的相对位置尺寸(或位置关系),它是装配后形成的。

装配尺寸链按照各环的几何特性和所处的空间位置,可分为:线性尺寸链、角度尺寸链、平面尺寸链和空间尺寸链。其中最常见的是前两种。

线性尺寸链是由彼此平行的直线尺寸所组成的尺寸链,如图 3.50b)所示,它所涉及的都是距离尺寸的精度问题。角度尺寸链是由角度(如平行度和垂直度)所组成的尺寸链,它所涉及的都是相互位置精度问题。如图 3.51 所示为台式钻床主轴轴线对底座工作台面的垂直度要求,影响此项装配精度的有关零件主要是主轴箱体 1 和立柱 2。因此,主轴箱体上两孔间的平行度以及立柱中心线对其端面的垂直度,是角度尺寸链的组成环,如图 3.51b)所示。

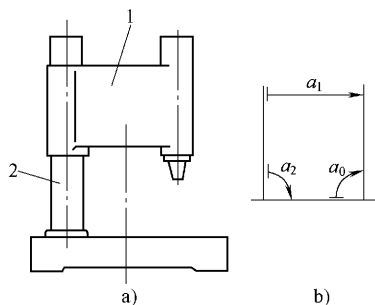


图 3.51 台式钻床装配角度尺寸链

1—主轴箱体 2—立柱

各组成环都有加工误差,所以组成环的误差累积就形成封闭环的误差。因此,应用装配尺寸链就便于揭示累积误差对装配精度的影响,并可列出计算公式,进行定量分析计算,据此来确定合理的装配方法和零件的公差。

(2) 装配尺寸链的建立

正确地建立装配尺寸链,是运用尺寸链原理分析和解决零件精度与装配精度关系问题的基础。

前已知,装配尺寸链的封闭环多为产品或部件的装配精度。找出对装配精度有直接影响的零部件尺寸和位置关系,即可查明装配尺寸链的各组成环。一般查找装配尺寸链组成环的方法是:首先根据装配精度要求确定封闭环,然后以封闭环两端的零部件为起点,沿着装配精度要求的位置方向,以零部件装配基准面为查找线索,分别找出影响装配精度要求的有关零部件,直至找到同一个基准零部件或同一基准表面为止。这样,各有关零部件上直接连接相邻零部件装配基准面的尺寸或位置关系,即为装配尺寸链中的组成环。

在建立装配尺寸链时,应注意以下几点:

1) 按一定层次分别建立产品与部件的装配尺寸链 机械产品一般都比较复杂,为便于装配和提高生产率,整个产品多划分为若干部件,装配工作分为部装和总装。因此,应分别建立部装的尺寸链和总装的尺寸链。部件装配尺寸链以部件装配精度为封闭环(总装时则为组成环),以有关零件为组成环。产品总装尺寸链以产品精度标准为封闭环,以总装中有关零部件尺寸为组成环。这样分层次建立的尺寸链比较清晰,表达的装配关系也更清楚。

2) 在保证装配精度的前提下,装配尺寸链组成环可适当简化 图 3.50 所示的车床主轴中心线与尾座套筒中心线等高度的装配要求,其影响因素除了主轴锥孔中心线至主轴箱底面的高度(A_1),尾座底板厚度(A_2),尾座顶尖套锥孔中心线至尾座底面距离(A_3)外,还有床身上安装主轴箱和尾座的平导轨间的高度差。通常由于这一误差相对 A_1 、 A_2 及 A_3 的误差而言是较小的,故装配尺寸链可简化为图 3.50b)所示的情况。

3) 装配尺寸链的组成应符合最短路线(环数最少)原则 由尺寸链的基本理论可知,封闭环的公差等于各组成环公差之和。当封闭环一定时,组成环数越少,分配到各组成环的公差越大。因此,在装配精度要求一定的条件下,为使各组成环的公差大一些,便于加工,要求组成环数尽可能少一些。为此,必须使与装配精度有关的零部件仅以一个相关尺寸列入尺寸链,这样装配尺寸链的组成环数目也就会最少。按最短路线原则所确定的组成环,应作为设计尺寸标注在零件图上,其公差必须通过装配尺寸链求解。

例如,图 3.52 所示尾座套筒装配时,要求后盖 3 装入后,螺母 2 在尾座套筒内的轴向窜动不大于某一数值。由于后盖尺寸标注不同,可建立两个装配尺寸链(图 3.52c)较图 3.52b)多了一个组成环,其原因是尺寸 B_1 和 B_2 同在后盖 3 上,它们本身又构成一个工艺尺寸链,其封闭环是 A_3 ,这个尺寸才是影响装配精度的相关尺寸,以 A_3 列入装配尺寸链,组成环的环数就可以减少。

4) 当同一装配结构在不同方向上有装配精度要求时,应按不同方向分别建立装配尺寸链 例如常见的蜗杆副结构,为保证正常啮合,蜗杆副两轴线间的距离(影响啮合间隙)、蜗杆轴线与蜗轮中心平面的对称度均有一定要求,这是两

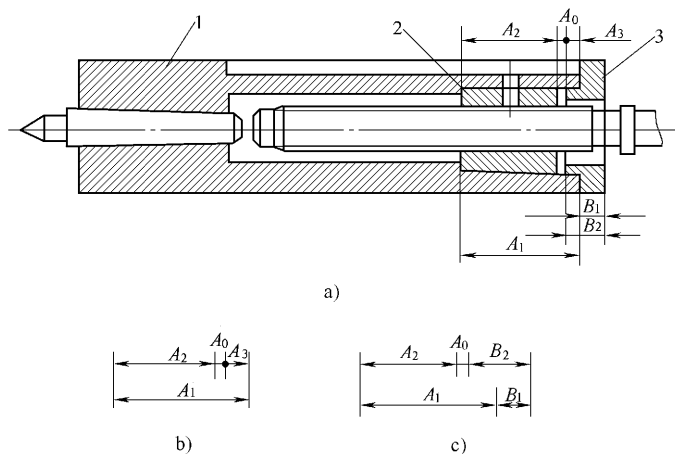


图 3.52 车床尾座套筒装配关系图及装配尺寸链图

1—尾座套筒 2—螺母 3—后盖

个不同位置方向的装配精度,因此需要在两个不同方向分别建立装配尺寸链。

(3) 装配尺寸链的计算

装配尺寸链的计算有两种方法:极值法(极大极小法)和概率法。极值法计算与工艺尺寸链的解算方法相同。这种方法的特点是简单可靠,但当封闭环公差较小或组成环较多时,会使各组成环公差太小而加工困难,成本增加。而根据概率论的基本原理,首先,在一个稳定的工艺系统中进行较大批量加工时,零件的加工误差出现极值的可能性是很小的。其次,装配时,各零件误差同时出现极值的“最坏组合”的可能性更小。若组成环数较多,装配时零件出现“最坏组合”的机会就更加微小,实际上可忽略不计。以概率论原理为基础建立的尺寸链计算方法,即概率法,在上述情况下比极值法将更合理,下面着重予以讨论。

1) 各环公差值的概率法计算 在装配尺寸链中,各组成环是有关零件上的尺寸或位置关系,这些数值是一些彼此独立的随机变量,根据概率论原理,作为各组成环合成结果的封闭环也是一个随机变量。因此组成环的标准差 σ_i 和封闭环的标准差 σ_0 有下列关系

$$\sigma_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}$$

当各组成环误差均为正态分布时,可取 $T = 6\sigma$,即以封闭环公差 $T_0 = 6\sigma_0$,组成环公差 $T_i = 6\sigma_i$ 代入上式可得

$$T_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^m T_i^2} \quad (3.16)$$

设各组成环公差都相等,即 $T_i = T_{av}$,则各组成环平均公差 T_{av} 为:

$$T_{av} = \frac{T_0}{\sqrt{m}} \quad (3.17)$$

显然,与极值法的 $T_{av} = \frac{T_0}{m}$ 相比,采用概率法允许将组成环的平均公差扩大 \sqrt{m} 倍。 m 值越大,扩大倍数越大。可见概率法更适用于环数较多的尺寸链。

2) 各环平均尺寸 A_{av} 的计算 当各环的公差确定后,如能确定各环的平均尺寸 A_{av} 或中间偏差(也称平均偏差) Δ ,则各环的极限尺寸或上下偏差即能方便地求出。因此各环公差用概率法确定后,应进一步确定各环的平均尺寸或中间偏差。

在 3.3 节中已介绍过,封闭环的平均尺寸等于所有增环的平均尺寸之和减去所有减环的平均尺寸之和(公式 3.15),即

$$A_{0av} = \sum_{i=1}^n \bar{A}_{iav} - \sum_{i=n+1}^m \bar{A}_{iav}$$

封闭环的中间偏差等于所有增环的中间偏差之和减去所有减环的中间偏差之和(公式 3.9),即

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_i - \sum_{i=n+1}^m \bar{\Delta}_i$$

当按公式确定 T_0 和 Δ_0 后可得封闭环的上下偏差:

$$ES_0 = \Delta_0 + T_0/2 \quad (3.18)$$

$$EI_0 = \Delta_0 - T_0/2 \quad (3.19)$$

6. 保证装配精度的方法

机械产品的精度要求最终是靠装配实现的。产品的装配精度、结构和生产类型不同,采用的装配方法也不同。生产中保证装配精度的方法有:互换法、修配法和调整法。

(1) 互换法

互换法是装配过程中,同种零部件互换后仍能达到装配精度要求的一种方法。产品采用互换装配法时,装配精度主要取决于零部件的加工精度。互换法的实质就是用控制零部件的加工误差来保证产品的装配精度。

1) 完全互换法 完全互换法在装配时零部件不经任何选择、修配和调节,均能达到装配精度的要求。完全互换法的装配尺寸采用极值法。

例题 3.9 如图 3.53a)所示为车床离合器齿轮轴装配关系,为保证齿轮在轴上灵活回转,要求装配后的轴向间隙为 $0.05 \sim 0.4 \text{ mm}$ 。已知 $L_1 = 34$ 、 $L_2 = 22$ 、 $L_3 = 12$,试确定各组成环公差和极限偏差。

解:①画装配尺寸链如图 3.53b)所示。根据题意,要保证的轴向间隙 $0.05 \sim 0.4 \text{ mm}$ 是封闭环 L_1 为增环 L_2 、 L_3 为减环。

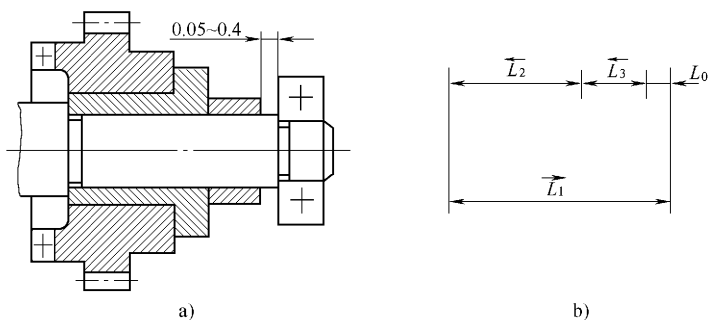


图 3.53 车床离合器齿轮轴的装配图及装配尺寸链图

② 计算封闭环基本尺寸

$$L_0 = L_1 - (L_2 + L_3) = 34 - (22 + 12) = 0 \quad \text{所以 } L_0 = 0^{+0.4}_{+0.05} \text{ mm}$$

③ 计算组成环平均公差

$$T_{av} = \frac{T_0}{m} = \frac{0.35}{3} \text{ mm} \approx 0.12 \text{ mm}$$

将各组成环的公差绝对平均分配显然是不合理的,应根据尺寸大小和加工难易程度,以平均公差为参考,调整确定各组成环公差为: $T_1 = 0.18 \text{ mm}$, $T_2 = 0.12 \text{ mm}$, $T_3 = 0.05 \text{ mm}$ 。

调整后的各组成环公差之和应等于封闭环公差,即

$$T_1 + T_2 + T_3 = (0.18 + 0.12 + 0.05) \text{ mm} = 0.35 \text{ mm} = T_0$$

在确定各组成环公差带分布时,一般按金属的“单向入体”原则确定。即对于包容尺寸,其下偏差为零;对于被包容尺寸,其上偏差为零;入体方向不明的尺寸,其偏差一般可对称分布。但首先需要选择一个组成环,它的公差带分布要经过计算确定,以便与其他组成环协调,这个组成环称为协调环。一般选择与其他装配尺寸链无关、便于测量的零件作为协调环零件。本例选 L_1 为协调环,其余各组成环为 $L_2 = 22^{0}_{-0.12} \text{ mm}$, $L_3 = 12^{0}_{-0.05} \text{ mm}$ 。

④ 各环的中间偏差分别为:

$$\Delta_0 = 0.225 \text{ mm} \quad \Delta_2 = -0.06 \text{ mm} \quad \Delta_3 = -0.025 \text{ mm}$$

根据封闭环的中间偏差公式得出:

$$0.225 = \Delta_1 - (-0.06 - 0.025) \quad \text{所以 } \Delta_1 = 0.14 \text{ mm}$$

协调环 L_1 的极限偏差为:

$$ES_1 = \Delta_1 + \frac{T_1}{2} = \left(0.14 + \frac{0.18}{2} \right) \text{ mm} = 0.23 \text{ mm}$$

$$EI_1 = \Delta_1 - \frac{T_1}{2} = \left(0.14 - \frac{0.18}{2} \right) \text{ mm} = 0.05 \text{ mm}$$

所以,协调环 $L_1 = 34^{+0.23}_{+0.05}$ mm。

最后各组成环尺寸和极限偏差确定为:

$$L_1 = 34^{+0.23}_{+0.05} \text{ mm} \quad L_2 = 22^{0}_{-0.12} \text{ mm} \quad L_3 = 12^{0}_{-0.05} \text{ mm}。$$

按此尺寸链计算的尺寸及其偏差应标注到零件图上去,作为保证装配精度的重要尺寸。

采用完全互换法进行装配,可使装配过程简单,质量稳定,生产率高,易于组织流水作业及自动化装配,也便于采用协作方式组织专业化生产。因此,只要能满足零件加工经济精度要求,无论何种生产类型都应首先考虑采用完全互换法装配。但当装配精度要求较高,尤其是组成环数较多时,零件就难以按经济精度制造。因此完全互换法多用于大批量生产中高精度的少环尺寸链或低精度的多环尺寸链。

2) 不完全互换法(大数互换法) 正如实际生产所表明的,在同一装配部件中各组成环都是极限尺寸的情况极少,因此,可利用概率法放宽尺寸链的各组成环公差,使加工容易,以降低成本,并将废品率控制在一个较小的百分数内。

例题 3.10 用概率法解图 3.53 所示的尺寸链。

解: 设各组成环均是正态分布,且分布中心与公差带中心重合,则各组成环平均公差为:

$$T_{\text{av}} = \frac{T_0}{\sqrt{m}} = \frac{0.35}{\sqrt{3}} \text{ mm} \approx 0.2 \text{ mm}$$

以平均公差为参考,根据加工尺寸大小和加工难易程度确定各组成环公差,必须满足各组成环公差的平方和的平方根要小于或等于封闭环的公差。

取 $T_1 = 0.26 \text{ mm}$, $T_2 = 0.20 \text{ mm}$, $T_3 = 0.12 \text{ mm}$

校验 $\sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2} = \sqrt{0.26^2 + 0.20^2 + 0.12^2} \text{ mm}$

$$= \sqrt{0.122} \text{ mm} \approx 0.349 \text{ mm} < 0.35 \text{ mm}$$

现仍选择组成环 L_1 为协调环。按“单向入体”原则确定其余各组成环极限偏差,即 $L_2 = 22^{0}_{-0.20} \text{ mm}$, $L_3 = 12^{0}_{-0.12} \text{ mm}$ 。

各环的中间偏差分别为:

$$\Delta_0 = 0.225 \text{ mm} \quad \Delta_2 = -0.10 \text{ mm} \quad \Delta_3 = -0.06 \text{ mm}$$

根据封闭环的中间偏差公式得出 $0.225 = \Delta_1 - (-0.10 - 0.06)$

所以 $\Delta_1 = 0.065 \text{ mm}$

协调环 L_1 的上下偏差分别为:

$$ES_1 = \Delta_1 + \frac{T_1}{2} = 0.065 + \frac{0.26}{2} = +0.195 \text{ mm}$$

$$EI_1 = \Delta_1 - \frac{T_1}{2} = 0.065 - \frac{0.26}{2} = -0.065 \text{ mm}$$

即协调环 $L_1 = 34 \begin{smallmatrix} +0.195 \\ -0.065 \end{smallmatrix} \text{ mm}$

最后可得各组成环尺寸为：

$$L_1 = 34 \begin{smallmatrix} +0.195 \\ -0.065 \end{smallmatrix} \text{ mm} \quad L_2 = 22 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.20 \end{smallmatrix} \text{ mm} \quad L_3 = 12 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.12 \end{smallmatrix} \text{ mm}。$$

比较上述结果可以看出,用不完全互换法比用完全互换法对各组成环公差相应扩大,降低了加工成本。但根据概率论原理,装配后会有 0.27% 的产品达不到装配精度要求。这一问题一般可通过更换组成环中的个别零件加以解决。

不完全互换法具有完全互换法的优点。适用于大批量生产中精度要求较高而环数较多的装配尺寸链。

3) 分组互换法 在大量或成批生产条件下,当装配精度要求很高且组成环数较少时,其组成环公差必然很小,致使零件加工困难,甚至无法加工,这时应采用分组互换法装配,将组成环公差扩大数倍,按经济精度加工,然后将零件按要求的原公差分组,并按相应组进行装配,来达到装配精度的要求。

例题 3.11 如图 3.54a)所示,活塞销 d 与活塞销孔 D 在冷态装配时应有 0.002 5 ~ 0.007 5 mm 的过盈量,即封闭环公差为 0.005 mm。如果采用完全互换法装配,则销与销孔的平均公差为 0.002 5 mm。如上述配合按基轴制原则,则活塞销直径 $d = \phi 28 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.0025 \end{smallmatrix} \text{ mm}$,销孔直径 $D = \phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0050 \\ -0.0075 \end{smallmatrix} \text{ mm}$ 。显然,制造如此精确的销与销孔既困难又不经济。实际生产中采用的办法是先将上述公差值都同向增大四倍($d = \phi 28 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.01 \end{smallmatrix} \text{ mm}$, $D = \phi 28 \begin{smallmatrix} -0.005 \\ -0.015 \end{smallmatrix} \text{ mm}$),这样即可用高效率的无心磨和金刚镗分别加工活塞销和销孔,然后用精密量仪测量销和销孔,并按尺寸大小分成四组,涂上不同的颜色,以便进行分组装配。具体分组情况见表 3.18。

从该表可以看出,各组的公差和配合性质与原设计要求相同。

采用分组互换法装配时应注意以下几点：

① 为保证分组装配后的配合精度和配合性质符合原设计要求,配合件的公差应相等,公差增大方向要相同,增大倍数要相同且等于分组数,如图 3.54b)所示。

② 分组数不宜多(一般为 3 ~ 6),尺寸公差只要放大到经济加工精度即可,否则会增加零件的测量、分组、保管等工作量,使装配组织工作复杂化。

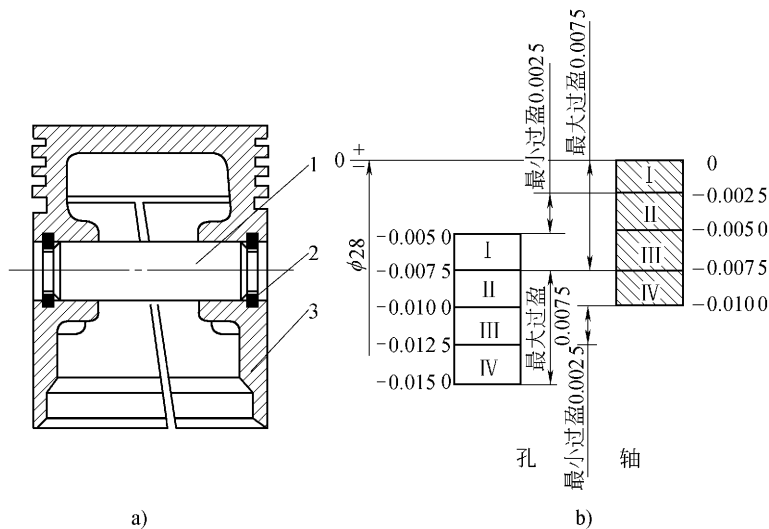


图 3.54 活塞与活塞销连接
1—活塞销 2—挡圈 3—活塞

表 3.18 活塞销与活塞销孔直径分组 (单位 mm)

组别	标志颜色	活塞直径 $d = \phi 28 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.010 \end{smallmatrix}$	活塞销孔直径 $D = \phi 28 \begin{smallmatrix} -0.005 \\ -0.015 \end{smallmatrix}$	配合情况	
				最小过盈	最大过盈
I	红	$\phi 28 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.0025 \end{smallmatrix}$	$\phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0050 \\ -0.0075 \end{smallmatrix}$	0.0025	0.0075
II	白	$\phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0025 \\ -0.0050 \end{smallmatrix}$	$\phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0075 \\ -0.0100 \end{smallmatrix}$		
III	黄	$\phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0050 \\ -0.0075 \end{smallmatrix}$	$\phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0100 \\ -0.0125 \end{smallmatrix}$		
IV	绿	$\phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0075 \\ -0.0100 \end{smallmatrix}$	$\phi 28 \begin{smallmatrix} -0.0125 \\ -0.0150 \end{smallmatrix}$		

- ③ 分组后各组内相配合零件的数量要尽量相等,形成配套。否则会出现某些尺寸零件的积压浪费现象。
- ④ 配合件的表面粗糙度值、相互位置精度和形状精度不能随尺寸公差放大而放大,否则不能达到原要求的配合精度和配合质量。
- 分组互换法既能扩大各组成环的公差,又能保证装配精度的要求,同组内的

零件装配具有互换法的优点,适用于大批量生产中装配精度要求很高且环数很少的场合。例如滚动轴承的装配即采用分组互换法。

(2) 修配法

在单件小批或成批生产中,当装配精度要求较高,装配尺寸链的组成环数较多时,生产中常采用修配法来保证装配精度要求。

所谓修配法,就是将装配尺寸链中各组成环按经济精度加工,装配时按各组成环累积误差的实测结果,通过修配某一预先选定的组成环零件,或就地配制这个环,以消除累积误差,达到规定装配精度的一种装配方法。被修配的零件叫修配环或补偿环。一般应选形状比较简单,修配面小,便于修配加工,便于装卸,并对其他尺寸链没有影响的零件作修配环。修配环在零件加工时应留有一定的修配量。

实际生产中,常见的修配方法有以下三种:

1) 单件修配法 在装配时,选定某一固定的零件作修配件进行修配,以保证装配精度的方法称为单件修配法。

例题 3.12 如图 3.50 所示,卧式车床前后顶尖对床身导轨的等高度要求为 0.06 mm (只许尾座高),求各组成环的尺寸偏差。

解 此尺寸链中的组成环有三个:主轴箱主轴中心到底面高度 $A_1 = 205 \text{ mm}$,尾座底板厚度 $A_2 = 49 \text{ mm}$,尾座顶尖中心到底面距离 $A_3 = 156 \text{ mm}$ 。封闭环为 $0 \sim 0.06$, A_2 、 A_3 为增环, A_1 为减环。

封闭环的基本尺寸 $A_0 = A_2 + A_3 - A_1$, $A_0 = 49 + 156 - 205 = 0$, 即 $A_0 = 0^{+0.06}_0 \text{ mm}$ 。

若用完全互换法装配,则各组成环平均公差为 $T_{iav} = \frac{T_0}{3} = \frac{0.06}{3} \text{ mm} =$

0.02 mm ,这样小的公差将使加工困难,所以生产中一般采用修配法,各组成环仍按经济精度加工。根据用镗模镗孔的经济加工精度,取 $T_1 = 0.1 \text{ mm}$, $T_3 = 0.1 \text{ mm}$,根据半精刨的经济加工精度,取 $T_2 = 0.15 \text{ mm}$ 。由于在装配中修刮尾座底板的下表面是比较方便的,修配面也不大,所以选尾座底板为修配件。

组成环的公差一般按“单向入体”原则分布,此例中 $A_1 = (205 \pm 0.05) \text{ mm}$, $A_3 = (156 \pm 0.05) \text{ mm}$ 。至于 A_2 的公差带分布,要通过尺寸链计算确定。

修配环在修配时对封闭环尺寸变化的影响有两种情况,一种是使封闭环尺寸变大,另一种是使封闭环尺寸变小。因此,修配环公差带分布的计算也相应分成两种情况。

当修配结果使封闭环尺寸变大时,简称“越修越大”,按封闭环的最大极限尺寸(或上偏差)公式来计算。

当修配结果使封闭环尺寸变小时,简称“越修越小”,按封闭环的最小极限尺寸(或下偏差)公式来计算。

本例题中,修配尾座底板的下表面,使封闭环尺寸变小,因此应按求封闭环的下偏差公式来计算 $EI_0 = EI_2 + EI_3 - ES_1$, 即 $0 = EI_2 - 0.05 - 0.05$, $EI_2 = 0.1 \text{ mm}$

因为 $T_2 = 0.15 \text{ mm}$, 所以 $A_2 = 49_{+0.1}^{+0.25} \text{ mm}$ 。

修配加工是为了补偿组成环累积误差与封闭环公差超差部分的误差,所以最多修配量 $F_{\max} = \sum T_i - T_0 = (0.1 + 0.15 + 0.1 - 0.06) \text{ mm} = 0.29 \text{ mm}$, 而最小修配量 $= 0$ 。考虑到车床总装时,尾座底板与床身配合的导轨面还必须配刮,则应补充修正,取最小修配量为 0.05 mm ,修正后的 A_2 为 $49_{+0.15}^{+0.30} \text{ mm}$,此时最大修配量 $= 0.34 \text{ mm}$ 。

2) 合并加工修配法 这种方法是将两个或多个零件合并在一起当作一个零件进行加工修配。这样减少了组成环的数目,从而减少了修配量。上例中,为了减少总装时对尾座底板的刮研量,先将尾座和底板的配合面加工好,并配刮横向小导轨,然后再将两者装配为一体,以底板的底面为定位基准,镗尾座的套筒孔,直接控制尾座套筒孔到底面的尺寸,这样组成环 A_2 、 A_3 (见图 3.50) 合并成一环,仍取公差为 0.1 mm ,其最多修配量 $= \sum T_i - T_0 = (0.1 + 0.1 - 0.06) \text{ mm} = 0.14 \text{ mm}$,修配工作量相应减少了。

合并加工修配法虽有上述优点,但是由于零件合并要对号入座,给加工、装配和生产组织工作带来不便,因此多用于单件小批生产中。

3) 自身加工修配法 在机床制造与维修中,利用机床本身的切削加工能力,用“自己加工自己的方法”可以方便地保证某些装配精度要求,这就是自身加工修配法。例如,牛头刨床、龙门刨床及龙门铣床总装时,自刨或自铣自己的工作台面,以保证工作台面和滑枕或导轨面的平行度;在车床上加工自身所用三爪自定心卡盘的卡爪,保证主轴回转轴线和三爪自定心卡盘三个爪的工作面的同轴度等。

修配法最大的优点就是各组成环均可按经济精度制造,而且可获得较高的装配精度。但由于产品需逐个修配,所以没有互换性,且装配劳动量大,生产率低,对装配工人技术水平要求高。因而修配法主要用于单件小批生产和中批生产中装配精度要求较高的情况下。

(3) 调整法

调整法与修配法相似,尺寸链中各组成环也按经济精度加工,装配时,通过调整尺寸链中某一预先选定的组成环零件的位置或尺寸来保证其装配精度。装配时进行调整的零件叫调整件,该组成环称调整环。调整法和修配法的区别是调整法在装配中并不切除金属。

根据调整方法的不同,调整法可分为:可动调整法、固定调整法和误差抵消调整法三种。

1) 可动调整法 通过改变调整件的位置来保证装配精度的方法称为可动调整法。

在产品装配中,可动调整法的应用较多。图 3.55a)所示为调整套筒 7 的轴向位置以保证齿轮轴向间隙 Δ 的要求;图 3.55b)所示为调整镶条 6 的位置以保证导轨副的配合间隙;图 3.55c)所示为调整楔块 3 的上下位置以调整丝杠螺母副的轴向间隙。

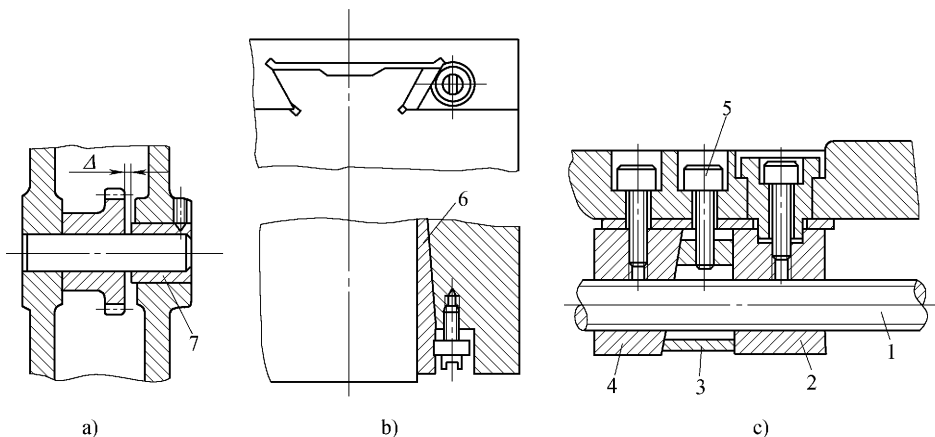


图 3.55 可动调整法应用实例

1—丝杆 2、4—螺母 3—楔块 5—螺钉 6—镶条 7—套筒

可动调整法不仅能获得较理想的装配精度,而且在产品使用中,由于零件磨损使装配精度下降时,可重新调整调整件的位置使产品恢复原有精度。适用于装配精度要求高,在工作中容易磨损或变化的产品装配。

2) 固定调整法 通过改变调整件的尺寸来保证装配精度的方法称为固定调整法。

采用这种方法,在结构上需要增加一个调整件。调整件应形状简单,制造容易,便于装拆。常用的调整件有垫片、套筒等。调整件预先需要按一定尺寸间隔制成一组专用零件,以备装配时根据各组成环所形成的累积误差的大小进行选择。

现以图 3.56 所示车床主轴大齿轮的装配为例说明应用固定调整法的方法和步骤。

例题 3.13 图 3.56 所示车床主轴大齿轮的装配中,按照装配精度要求,当隔套 (A_2)、齿轮 (A_3)、弹性挡圈 (A_4 , 标准件)和垫圈 (A_5)装在主轴 (A_1)上后,齿轮的轴向间隙量 A_0 应在 $0.05 \sim 0.20$ mm 的范围内。已知 $A_1 = 115$ mm, $A_2 = 8.5$

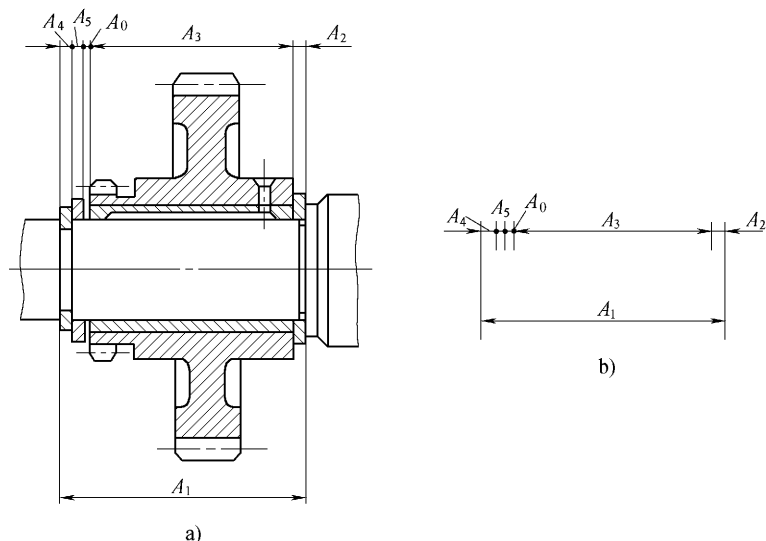


图 3.56 车床主轴大齿轮的装配示意图及装配尺寸链图

mm $A_3 = 95$ mm $A_4 = 2.5$ mm $A_5 = 9$ mm。现采用固定调整法装配,试确定各组成环的偏差,并求调整件的分组数和尺寸。

解:① 建立装配尺寸链,画尺寸链图 如图 3.56b)所示。其中 A_0 是封闭环 $A_1 = 115$ mm 是增环 $A_2 = 8.5$ mm、 $A_3 = 95$ mm、 $A_4 = 2.5$ mm、 $A_5 = 9$ mm 是减环。

② 计算封闭环基本尺寸 $A_0 = 115 - 8.5 - 95 - 2.5 - 9 = 0$ 即 $A_0 = 0^{+0.2}_{+0.05}$ mm。

③ 选择调整件 从图 3.56a)可见 A_5 垫圈形状简单,制造容易,装拆也方便,故选垫圈(A_5)为调整件。

④ 确定各组成环的公差 根据各组成环所采用加工方法的经济精度确定其公差为 $T_1 = 0.15$ mm $T_2 = 0.1$ mm $T_3 = 0.1$ mm $T_4 = 0.12$ mm $T_5 = 0.03$ mm。

按工序尺寸“单向入体原则”确定各组成环(除调整环外)的公差分布

$$A_1 = 115^{+0.15}_0 \quad A_2 = 8.5^{+0.1}_{-0.1} \quad A_3 = 95^{+0.1}_{-0.1} \quad A_4 = 2.5^{+0.12}_{-0.12}$$

则各环的中间偏差为:

$$\Delta_0 = +0.125 \text{ mm} \quad \Delta_1 = +0.075 \text{ mm} \quad \Delta_2 = -0.05 \text{ mm} \quad \Delta_3 = -0.05 \text{ mm} \quad \Delta_4 = -0.06 \text{ mm}。$$

⑤ 计算调整件(A_5)的调整量 F

$$F = \sum_{i=1}^{m-2} T_i = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = (0.15 + 0.1 + 0.1 + 0.12) \text{ mm} = 0.47 \text{ mm}$$

⑥ 计算各组调整件之间的尺寸间隔 Δ (封闭环公差与调整件公差之差)

$$S = T_0 - T_5 = (0.15 - 0.03) \text{ mm} = 0.12 \text{ mm}$$

⑦ 计算调整件的组数 $m = F/S = 0.47/0.12 \approx 3.9$, 分组数不能为小数, 应圆整为邻近的较大整数, 取 $m = 4$ 。当计算的 m 值和圆整数相差较大时, 可通过改变各组成环的公差或调整件公差, 使 m 接近整数。此外, 分组数不宜过多, 否则会给调整件制造和装配工作均造成麻烦, 一般分组数取 3~4 为宜。

⑧ 计算调整件 A_5 的平均尺寸 先计算出调整件的中间偏差, 就可方便地求出它的平均尺寸。

$$\begin{aligned} \text{因为} \quad \Delta_0 &= \sum_{i=1}^n \bar{\Delta}_i - \sum_{i=n+1}^m \bar{\Delta}_i \\ &+ 0.125 = 0.075 - (-0.05 - 0.05 - 0.06) - \Delta_5 \end{aligned}$$

所以 $\Delta_5 = 0.11 \text{ mm}$ 。

调整件的平均尺寸为 $A_{5\text{av}} = A_5 + \Delta_5 = (9 + 0.11) \text{ mm} = 9.11 \text{ mm}$ 。

⑨ 确定各组调整件的尺寸 在确定各组调整件的尺寸时, 根据调整件组数 m 的奇偶性分两种情况:

a) 当调整件的组数 m 为奇数时, 第⑧步求出的平均尺寸是调整件中间一组的平均尺寸, 其余各组的平均尺寸通过相应增加或减少各组之间的尺寸间隔 S 推得。

b) 当调整件的组数 m 为偶数时, 第⑧步求出的平均尺寸为调整件尺寸的对称中心, 再根据各组之间的尺寸间隔 S 确定各组尺寸。

本例中 $m = 4$ 为偶数, 故 $A_{5\text{av}} = 9.11 \text{ mm}$ 为调整件尺寸对称中心。各组平均尺寸为:

$$A_{51\text{av}} = (9.11 + 0.12 + 0.12/2) \text{ mm} = 9.29 \text{ mm}$$

$$A_{52\text{av}} = (9.11 + 0.12/2) \text{ mm} = 9.17 \text{ mm}$$

$$A_{53\text{av}} = (9.11 - 0.12/2) \text{ mm} = 9.05 \text{ mm}$$

$$A_{54\text{av}} = (9.11 - 0.12 - 0.12/2) \text{ mm} = 8.93 \text{ mm}$$

因而各组的尺寸为:

$$A_{51} = (9.29 \pm 0.015) \text{ mm}$$

$$A_{52} = (9.17 \pm 0.015) \text{ mm}$$

$$A_{53} = (9.05 \pm 0.015) \text{ mm}$$

$$A_{54} = (8.93 \pm 0.015) \text{ mm}$$

按“入体原则”标注极限偏差后得:

$$A_{51} = 9.305 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm} \approx 9.31 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm}$$

$$A_{52} = 9.185 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm} \approx 9.19 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm}$$

$$A_{53} = 9.065 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm} \approx 9.07 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm}$$

$$A_{54} = 8.945 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm} \approx 8.95 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.03 \end{smallmatrix} \text{ mm}$$

固定调整法常用于大批大量生产和中批生产中装配精度要求较高的多环尺寸链。

3) 误差抵消调整法 在产品或部件装配时,通过调整某些相关零件误差的大小和方向,使其相互抵消一部分,以提高装配的精度,这种方法叫做误差抵消调整法。该方法在机床装配时应用较多,如在机床主轴装配时,通过调整前后轴承的径向跳动方向来控制主轴的径向跳动;在滚齿机工作台分度蜗轮装配中,采用调整二者偏心方向来抵消误差以提高二者的同轴度。

综上所述,在机械产品装配时,应根据产品的结构、装配精度要求、装配尺寸链环数的多少、生产类型及具体生产条件等因素合理选择装配方法。一般情况下,应优先采用完全互换法;若生产批量较大,组成环又较多时应考虑采用不完全互换法;大批大量生产,装配精度要求较高时,组成环数较少可以考虑采用分组装配法;组成环数较多应采用固定调整法;单件小批生产常用修配法,成批生产常用调整法,也可酌情采用修配法。

3.6.2 装配工艺规程的制订

装配工艺规程是指导装配生产的主要技术文件,又是进行装配生产计划管理及技术准备的主要依据。装配工艺规程对保证产品的装配质量,提高装配生产效率,缩短装配周期,减轻工人的劳动强度,缩小装配占地面积和降低生产成本等都有重要作用。

制订装配工艺规程的基本原则为:保证产品装配质量,提高装配生产率,降低装配成本。

制订装配工艺规程所需的原始资料有:产品的装配图、部分零件图、产品验收标准和技术要求、生产纲领和现有生产条件等。

1. 制订装配工艺规程的方法与步骤

(1) 产品分析

研究产品的装配图,审核产品图样的完整性、正确性;研究装配技术要求和检查验收的内容及方法,审查产品的装配工艺性。

(2) 确定装配方法

对产品结构进行必要的装配尺寸链分析和计算,根据产品的结构特点、装配精度要求和生产批量,确定保证装配精度的装配工艺方法。

(3) 确定装配组织形式

装配组织形式有固定式装配和移动式装配两种。

1) 固定式装配 是将产品或部件的全部装配工作安排在一固定的工作地上进行。装配过程中产品位置不变,装配所需要的零部件都汇集在工作地附近。

固定式装配的特点是装配周期长,效率低,对工人技术水平要求高,占地面积大。固定式装配多用于单件、中小批生产,或装配时不便移动的大型机械,或装配时移动会影响装配精度的产品。

2) 移动式装配 是将产品或部件置于装配线上,通过连续或间歇地移动使其顺次经过各装配工作地,以完成全部装配工作。移动式装配有连续移动、间歇移动和变节奏移动三种方式。移动式装配的特点是较细地划分装配工序,广泛采用专用设备及工装,生产率高,对工人技术水平要求较低,易保证质量,多用于大批量生产,以组成装配流水线和自动线。

装配组织形式的选择主要取决于产品结构特点和生产类型,并应考虑现有生产条件和设备。

(4) 划分装配单元,确定装配顺序

将产品划分为可进行独立装配的单元是制订装配工艺规程中最重要的一个步骤。对于大批量生产、结构复杂的产品尤为重要。装配单元可分为零件、合件、组件、部件,如图 3.57 所示。装配单元的划分,还需合理地选择装配基准件。装配基准件应是产品的基体或主干零部件,应有较大的体积和质量,有足够的支承面和较多的公共结合面。

在划分装配单元并确定装配基准件后,可确定各装配单元的装配顺序。

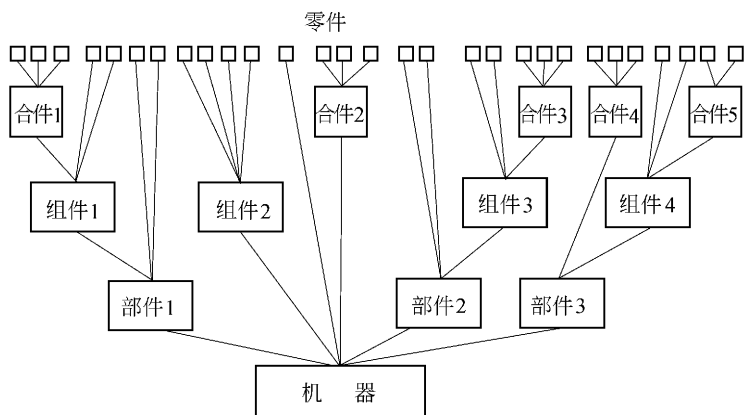


图 3.57 装配单元的划分

产品装配单元的划分及其装配顺序,常用装配工艺系统图来表示。装配工艺系统图是表明产品、部件之间相互装配关系及装配流程的示意图,是装配工艺规程的主要文件之一,也是划分装配工序的依据。对于单件小批生产或结构较简单的产品,常用此图来指导产品装配而不另外编写装配工艺卡;对于结构复杂、零部件多的产品,可按各装配单元分级绘制装配单元系统图后,再根据此图

进一步制定装配工艺卡。

装配单元用长方格表示,其上方注明装配单元的名称,左下方为装配单元的编号,右下方为装配单元的数量。装配工艺系统图的中间为一条横线,左端为装配基准件,右端为产品。按装配顺序由左向右,依次将零件画在横线上方,组件、部件画在横线下。

在装配工艺系统图上要加注装配所需的工艺方法(如焊接、配钻、配刮、冷压、热压及检验等)。图 3.58 所示为减速器的装配工艺系统图。

(5) 划分装配工序

装配顺序确定后,还要将装配工艺过程划分为若干工序,并确定工序内容、所用设备、工装及时间定额;制定各工序装配操作规范(如过盈配合的压入方法、变温装配的温度值、紧固螺栓连接的预紧扭矩、配作要求等);制定各工序装配质量要求及检测方法、检测项目等。

(6) 编制装配工艺文件

单件小批生产,通常只绘制装配工艺系统图,工人按装配图和装配工艺系统图进行装配。成批生产时,应根据装配工艺系统图分别制订部装、总装的装配工艺卡,简要地说明工序的工作内容、所需设备和工夹具的名称及编号、工人技术等级、时间定额等。大批大量生产时,应制定详细的装配工序卡,以便具体指导工人进行装配操作。

(7) 制定产品检测与试验规范

产品装配完毕,应按产品技术性能和验收技术条件制定检测与试验规范。它包括:检测和试验的项目及检验质量指标;检测和试验的方法、条件与环境要求;检测和试验所需工装的选择与设计;质量问题的分析方法及处理措施。

2. 确定装配顺序的一般原则

1) 预处理工序先行 如零件的清洗、去毛刺与飞边、防锈和防腐处理、油漆和干燥等。

2) 先基准后其他 先进行基准件的装配,以便保证装配过程的稳定性。

3) 先下后上 先装处于机器下方的有关零部件,再装处于机器上方的零部件,使重心始终处于最稳定状态。

4) 先内后外 使先装部分不会成为后续作业的障碍。

5) 先难后易 开始装配时,基准件上有较大的安装、调整及检测的空间,便于较难零部件的装配。

6) 先精密后一般 先将影响机器质量的零部件安装调试好,再装一般要求的零部件。

7) 冲击性质的装配、压力装配和加热装配或补充加工的装配工序应尽量先行,以免破坏后续的装配质量。

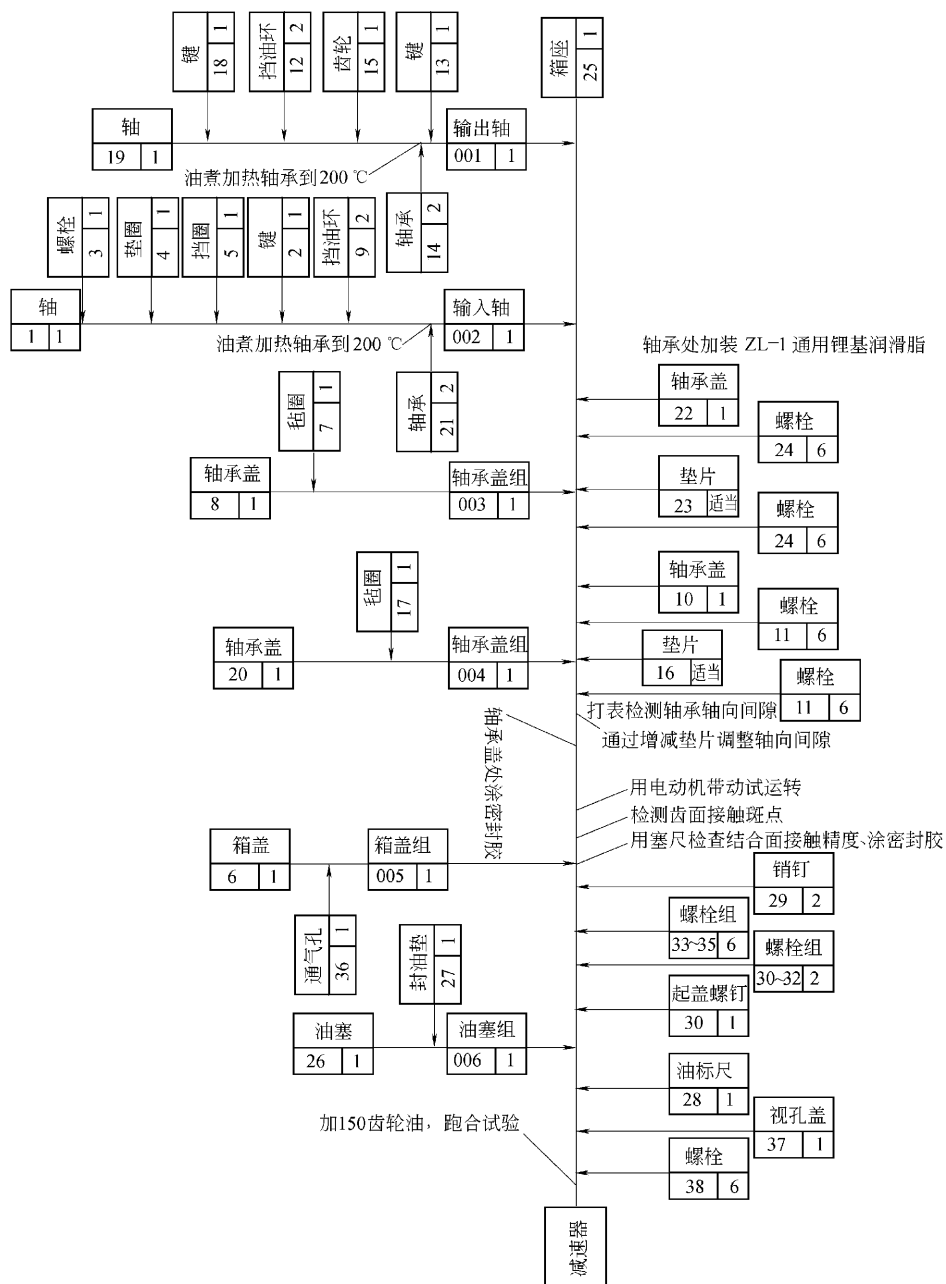


图 3.58 减速器装配工艺系统图

8) 使用相同设备及工艺装备的装配, 有共同特殊装配环境的装配, 处于基

准件同方位的装配应尽可能连续安排。

9) 电线、油气管路的安装一定要合理安排,不能疏忽。

10) 易燃、易爆、易碎的有毒物质部件的安装,尽可能放在最后,以减少安全防护工作量,保证装配工作顺利完成。

3. 减速器装配工艺过程分析

图 3.59 为减速器的装配简图,表 3.19 为其零件明细表。减速器的运动由输入轴(小轴)传来,经小齿轮传至大齿轮,最后由输出轴传出。它具有结构紧凑、工作平稳、噪声小等特点。主要技术有:滚动轴承的轴向间隙为 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$,齿面接触斑点沿全长不小于 50% ,沿齿高不小于 40% ;齿侧间隙为 0.185 mm 等。滚动轴承的轴向间隙采用调整法装配,即分别调整或更换两组垫片 16、23 的尺寸大小来保证。齿面的接触精度用完全互换法,即控制零件的加工精度来保证。根据减速器为成批生产,其结构简单,尺寸不大,确定其装配组织形式为移动式流水线装配。

表 3.19 减速器零件明细表

序号	名称	数量	序号	名称	数量	序号	名称	数量	序号	名称	数量
1	齿轮轴	1	11	螺栓 M12 × 35	12	21	轴承 36211	2	31	螺母 M10	2
2	键	1	12	挡油环	2	22	轴承盖	1	32	垫圈	2
3	螺栓 M6 × 20	1	13	键 12 × 70	1	23	垫片	2 组	33	螺栓 M12 × 130	6
4	垫圈	1	14	轴承 36314	2	24	螺栓 M10 × 35	12	34	螺母 M12	6
5	挡圈	1	15	齿轮	1	25	箱座	1	35	垫圈	6
6	箱盖	1	16	垫片	2 组	26	油塞 M16 × 1.5	1	36	通气器	1
7	毡圈 50	1	17	毡圈 60	1	27	封油垫 26 × 17	1	37	视孔盖	1
8	轴承盖	1	18	键 16 × 70	1	28	油标尺 M16	1	38	螺栓 M6 × 20	6
9	挡油环	2	19	轴	1	29	圆锥销 A8 × 35	2			
10	轴承盖	1	20	轴承盖	1	30	螺栓 M10 × 45	3			

根据减速器的结构,将其划分为 6 个装配单元:输入轴组件、输出轴组件、轴承盖合件 I、轴承盖合件 II、箱盖合件、油塞合件等。它们所包含的零件见表 3.20。

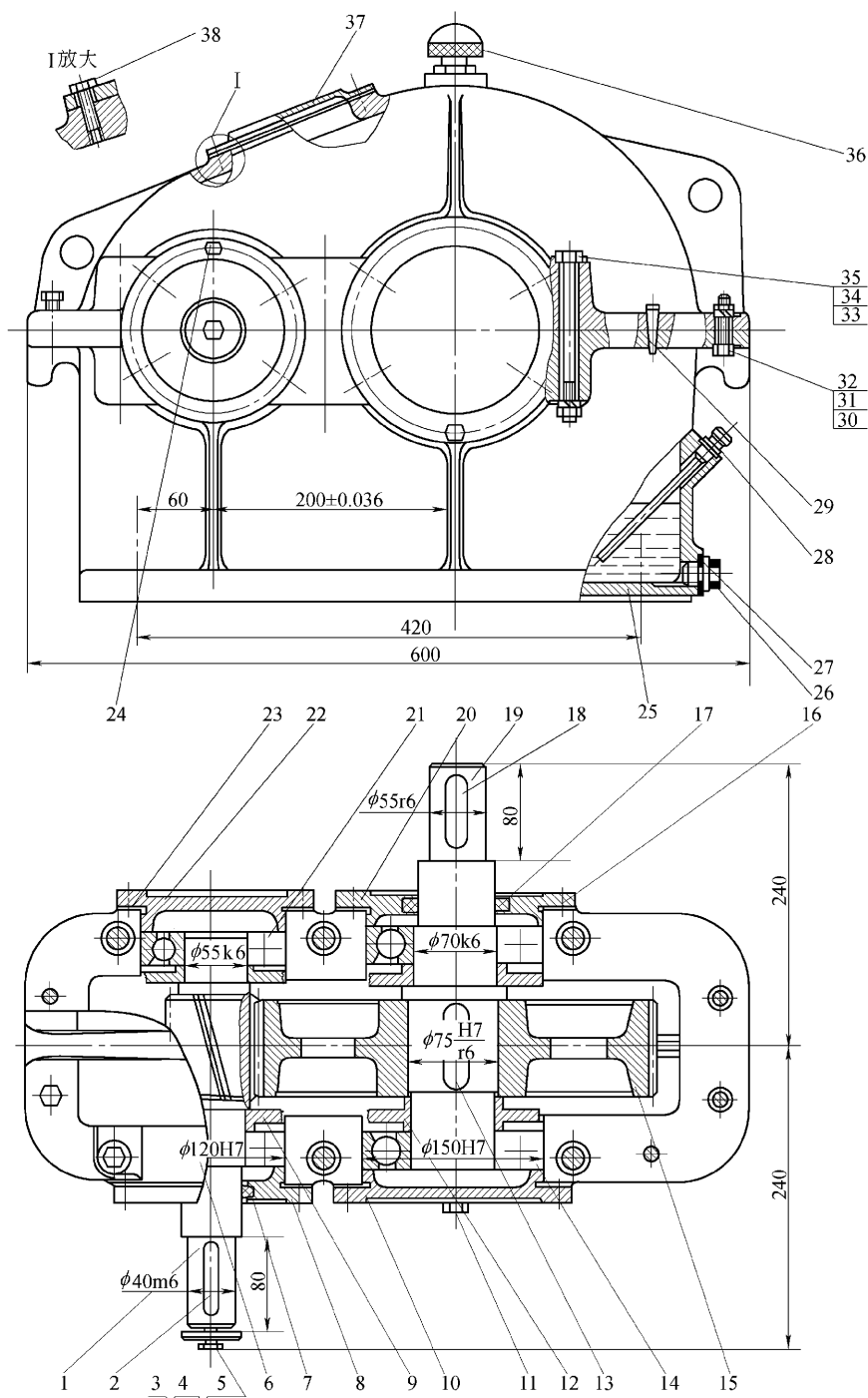


图 3.59 减速器装配简图

表 3.20 装配单元简表

名称	代号	所含零件件号	名称	代号	所含零件件号
输出轴组件	001	12 ,13 ,14 ,15 ,18 ,19	轴承盖合件 II	004	17 ,20
输入轴组件	002	1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,9 ,21	箱盖合件	005	6 ,36
轴承盖合件 I	003	7 ,8	油塞合件	006	26 ,27

选择箱座 25 作为总装的基准件。按照确定装配顺序的基本原则,依次从大到小、从下到上、从内到外,确定减速器的装配顺序,绘制出减速器装配工艺系统图(图 3.58)。

按装配工艺系统图划分工序内容,所需设备、工装,编制装配工艺规程,最后填制装配工艺过程卡。减速器的装配工艺路线见表 3.21。减速器输出轴组件的装配工艺过程卡见表 3.22。

表 3.21 减速器的装配工艺路线

序号	工 作 内 容
10	将箱座 25 吊上装配线工作台
20	将输出轴组件 001 装到箱座上,将输入轴组件 002 装到箱座上,在轴承处加装通用锂基润滑脂
30	将轴承盖 22 装在输入轴端部,用螺栓 24 连接并锁紧
40	将输入轴靠向一端,装入轴承盖合件 I 003,打表检测轴向间隙,选取适当的垫片 23 厚度,用螺栓 24 连接并锁紧,保证轴承间隙为 0.05 ~ 0.1 mm。在轴承盖处涂密封胶
50	将轴承盖 10 装在输出轴端部,用螺栓 11 连接并锁紧
60	将输出轴靠向一端,装入轴承盖合件 II 004,打表检测轴向间隙,选取适当的垫片 16 厚度,用螺栓 11 连接并锁紧,保证轴承间隙为 0.05 ~ 0.1 mm。在轴承盖处涂密封胶
70	试运转 2 min,检测齿面接触斑点
80	将箱盖合件 005 装在箱座 25 上,打入销钉 29,用螺栓组 33 ~ 35,30 ~ 32 连接并锁紧。旋入起盖螺栓 30。用塞尺检查结合面接触精度、涂密封胶
90	将油塞合件 006 旋入箱座 25,插入油标尺 28,加 150 号齿轮油,将视孔盖 37 装在箱座上,用螺栓 38 锁紧
100	起吊下线、跑合试验
110	外观总检
120	钉箱,入库

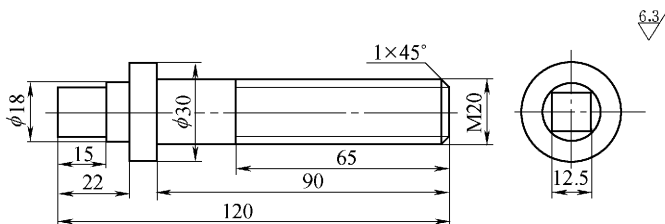
表 3.22 装配工艺过程卡片

		装配工艺过程卡片		产品型号		零(部)件图号		输出轴 001		共()页		第()页	
				产品名称		减速器		设备及工艺装备		辅助材料		工时定额 (min)	
工序号		工序名称		工 序 内 容		装配部门		设备 及 工 艺 装 备		辅 助 材 料			
10		部装		1. 将挡油环 9 套在齿轮轴 1 两端上 2. 将键 13 压入齿轮轴 1 的键槽内 3. 将挡圈 5、垫圈 4 用螺栓 3 紧固在齿轮轴的小端		装配		铜锤 扳手					
20		加热		将轴承 21(2 - 36211)加热到 200 °C				电热自动恒温油炉					
30		部装		将轴承 21 套入齿轮轴 1 的两轴承位,并贴紧端面				钳子		手套			
40		检		检查齿轮轴旋转应轻松灵活		检验							
50		总装		装入工位器具									

思考题与习题

3.1 什么叫工序、工步、安装、工位？

3.2 如题 3.2 图所示零件,毛坯为 $\phi 35\text{mm}$ 棒料,批量生产时其机械加工过程如下所述:在锯床上切断下料,车一端面钻中心孔,调头,车另一端面钻中心孔,在另一台车床上将整批工件一端外圆都车至 $\phi 30\text{mm}$ 及 $\phi 20\text{mm}$,调头再用车刀车削整批工件的 $\phi 18\text{mm}$ 外圆,又换一台车床,倒角,车螺纹。最后在铣床上铣两平面,转 90° 后,铣另外两平面。试分析其工艺过程的组成。



题 3.2 图 轴

3.3 常用的零件毛坯有哪些形式？各应用于什么场合？

3.4 什么叫基准？粗基准和精基准的选择原则有哪些？

3.5 试选择题 3.5 图所示支架和法兰盘零件加工时定位的粗基准和精基准。

3.6 什么是经济加工精度？零件加工表面加工方法的选择应遵循哪些原则？

3.7 在制订加工工艺规程中,为什么要划分加工阶段？

3.8 机械加工顺序安排的原则有哪些？如何安排热处理工序？

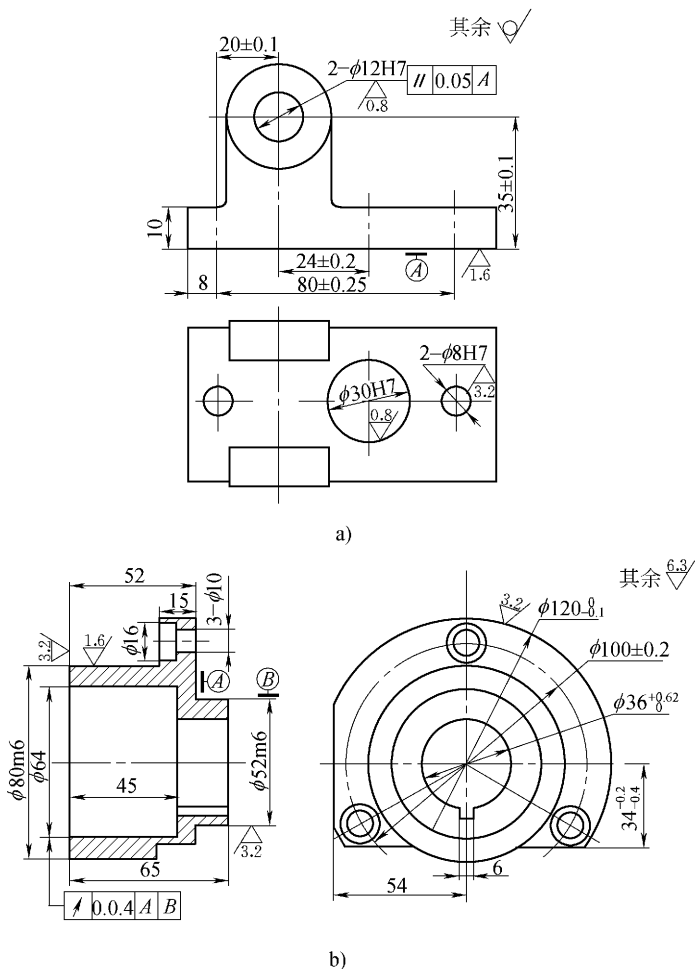
3.9 什么叫毛坯余量？什么叫加工余量？加工余量和工序尺寸及公差有何关系？影响加工余量的因素有哪些？

3.10 某箱体零件材料为 HT200,欲加工箱体上 $\phi 80\text{H7}$ 的孔。试确定其表面加工方案,并计算各工序的工序尺寸及公差,绘制出加工余量和加工尺寸分布图。

3.11 在单件小批量生产及大批量生产中分别应如何选择机床、夹具和量具？

3.12 在粗加工、半精加工中分别应如何选择切削用量？

3.13 缩短单件时间的途径有哪些？举例说明缩减基本时间 T_b 的方法有哪些？

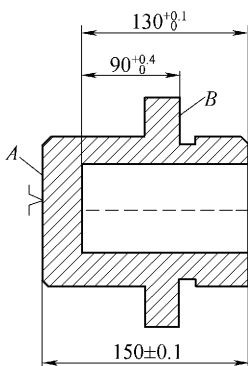


题 3.5 图 支架和法兰盘

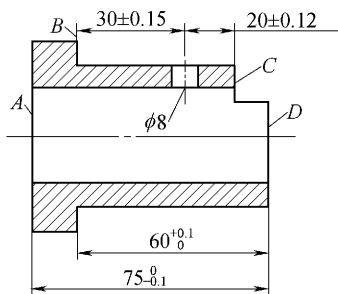
3.14 什么是生产成本、工艺成本？什么是可变费用、不变费用？在市场经济条件下，如何正确运用经济分析方法合理选择工艺方案？

3.15 轴承座零件如题 3.15 图所示，除 B 面外，其他尺寸均已加工完毕。现工序以表面 A 定位加工 B 面，试计算工序尺寸及其偏差。

3.16 轴套零件如题 3.16 图所示，其内外圆及端面 A、B、D 均已加工。现后续加工工艺如下：① 以 A 面定位，钻 $\phi 8$ 孔，求工序尺寸及其偏差。② 以 A 面定位，铣缺口 C，求工序尺寸及其偏差。

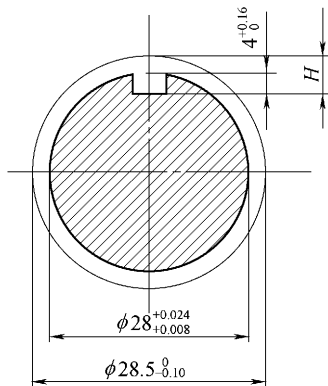


题 3.15 图 轴承座零件加工示意



题 3.16 图 轴套零件加工示意

3.17 铣削加工一轴类零件的键槽时,如题 3.17 图所示,要求保证键槽深度为 $4^{+0.16}_0$ mm,其工艺过程为:①车外圆至 $\phi 28.5^{+0.024}_{-0.1}$ mm;②铣键槽保证尺寸 H ;③热处理;④磨外圆至 $\phi 28^{+0.024}_{+0.008}$ mm,考虑到磨外圆与车外圆的中心不重合,设同轴度误差为 0.04 mm。试求铣键槽的工序尺寸 H 及其偏差。

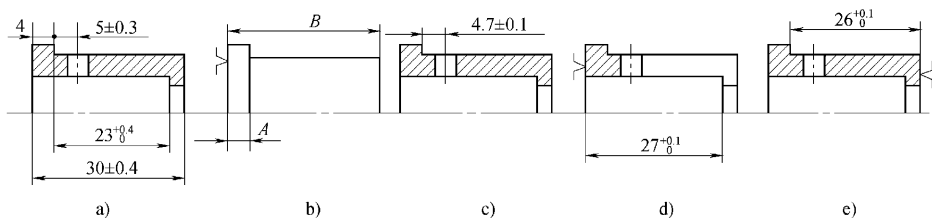


题 3.17 图 铣键槽

3.18 设一套筒零件,材料为 2Cr13,其内孔加工顺序为:①车内孔至尺寸 $\phi 31.8^{+0.14}_0$ mm;②氰化,要求工艺氰化层深度为 t ;③磨内孔至尺寸 $\phi 32^{+0.035}_{+0.010}$ mm,要求保证氰化层深度为 0.1 ~ 0.3 mm。试求氰化工序的工艺氰化层深度尺寸 t 的范围。

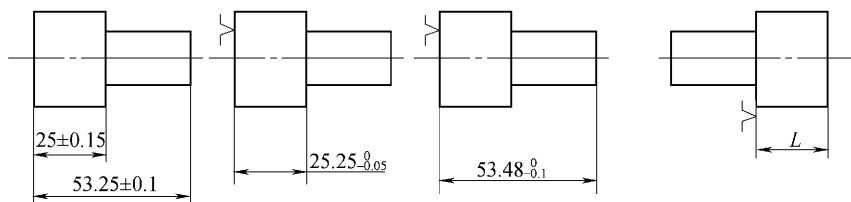
3.19 某零件规定的外圆直径为 $\phi 32^{+0}_{-0.05}$ mm,渗碳深度为 0.5 ~ 0.8 mm。现为使此零件能和其他零件同炉渗碳,限定其工艺渗碳层深度为 0.8 ~ 1.0 mm。试计算渗碳前车削工序的直径尺寸及其偏差。

3.20 轴套零件如题 3.20 图 a) 所示, 现部分加工工序如下: ⑤ 精车小端外圆、端面、肩面, 如题 3.20 图 b) 所示; ⑥ 钻孔, 如题 3.20 图 c) 所示; ⑦ 热处理; ⑧ 磨孔及底面, 如题 3.20 图 d) 所示; ⑨ 磨小端外圆及肩面, 如题 3.20 图 e) 所示。试求工序尺寸 A 、 B 及其偏差。



题 3.20 图 轴套加工

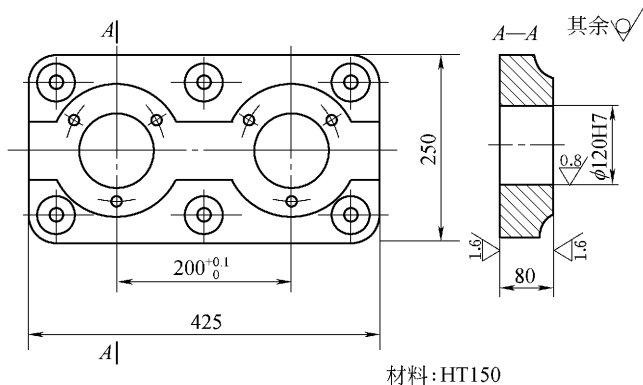
3.21 阶梯轴零件的轴向尺寸如题 3.21 图所示, 其加工工序为: ① 车台阶面保证尺寸 $25.25_{-0.05}^0$ mm; ② 车小端面保证尺寸 $53.48_{-0.1}^0$ mm; ③ 精磨大端面, 尺寸为 L 。试求精磨工序的尺寸及其偏差。



题 3.21 图 阶梯轴加工

3.22 何谓成组技术? 制定成组加工工艺与普通零件加工工艺方法有何区别?

3.23 试为题 3.23 图的零件进行分类编码。



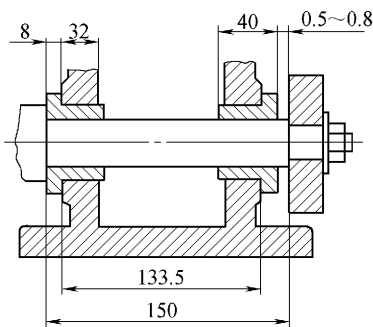
题 3.23 图 连接底板零件简图

3.24 简述派生法 CAPP 系统的工作原理。

3.25 装配精度包括哪些内容？装配精度与零件精度有何关系？

3.26 保证装配精度的方法有哪几种？各有何特点？

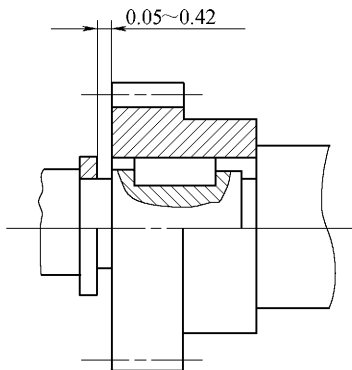
3.27 轴在箱体上的装配关系如题 3.27 图所示(左右两套筒零件尺寸相同),要求带轮与套筒之间保留有 $0.5 \sim 0.8$ mm 的间隙。试按装配尺寸链最短路线原则绘制出与轴向间隙有关的装配尺寸链简图,且分别用极值法和概率法确定有关零件尺寸的上下偏差。



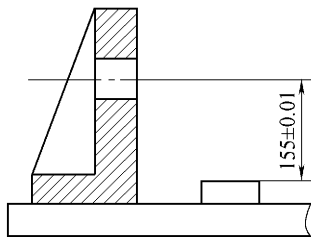
题 3.27 图 轴在箱体上的装配关系

3.28 主轴局部装配关系如题 3.28 图所示,要求保证轴向间隙为 $0.05 \sim 0.42$ mm。已知齿轮厚 32.5 mm,弹性挡圈厚 $2.5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.12 \end{smallmatrix}$ mm(标准件),试分别按极值法和概率法确定有关零件尺寸的上下偏差。

3.29 镗夹具如题 3.29 图所示,要求定位面到孔中心距离为 155 ± 0.01 mm,定位板厚 20 mm。试用修配法确定各组成环尺寸及其偏差,并确定最小修配量。



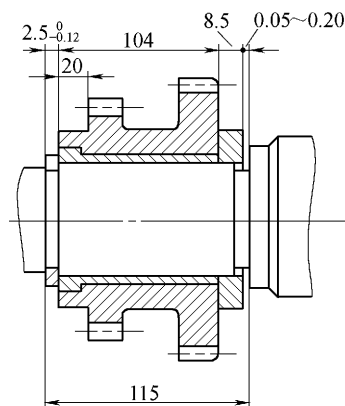
题 3.28 图 主轴局部装配关系



题 3.29 图 镗夹具装配

3.30 车床主轴上一双联齿轮的装配关系如题 3.30 图所示。为保证齿轮

的正常工作,要求其轴向间隙为 $0.05 \sim 0.20 \text{ mm}$ 。试按固定调整法重新确定有关零件的尺寸,并计算调整垫片的组数及各组垫片的尺寸及偏差。



题 3.30 图 双联齿轮的装配

- 3.31 装配组织形式有哪两种?各适合于什么场合?
- 3.32 划分装配单元对机器装配有何意义?

4.1 轴类零件加工

4.1.1 概述

1. 轴类零件的结构特点

轴类零件的功用为支承传动零件(齿轮、皮带轮等) ,传递扭矩或运动 ,承受载荷 ,并保证装配在轴上的零件(或刀具)具有一定的回转精度。

轴类零件按其结构形状的特点 ,可分为光轴、阶梯轴、空心轴(如机床主轴) 和异形轴(如曲轴、凸轮轴、偏心轴和花键轴等)四大类 ,如图 4.1 所示。轴类零件是回转体零件 ,其长度远大于直径。按轴的长度与直径的比又可分为刚性轴 ($L/d \leq 12$)和挠性轴 ($L/d > 12$)两类。轴主要由圆柱面、圆锥面、端面、沟槽、连接圆弧等组成 ,有时还带有螺纹、键槽、花键和其他表面等。

2. 轴类零件的技术要求

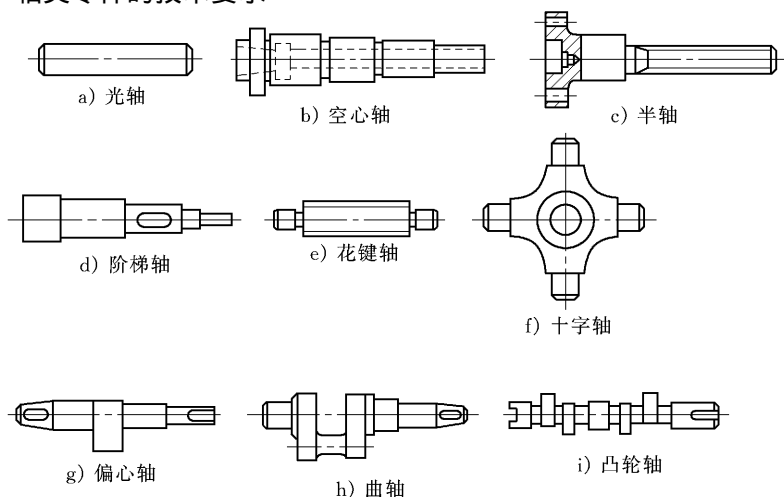


图 4.1 轴的种类

轴类零件的技术要求是根据轴类零件的功用和工作条件制定的。轴颈是轴类零件的主要表面,它影响轴的回转精度及工作状态。轴颈的直径精度根据其使用要求通常为 IT9 ~ 6 级,精密轴颈可达 IT5 级。轴颈的几何形状精度(圆度、圆柱度等)将影响与配合件的接触质量。对精度要求较高的外圆表面(如轴颈)常常规定其允差。对一般精度的轴颈,其允差可取轴颈公差的一半;精密轴颈,其允差取轴颈公差的 1/4。轴类零件的相互位置精度主要指装配传动件的配合轴颈相对于装配轴承的支承轴颈的同轴度,通常用配合轴颈对支承轴颈的径向圆跳动来表示。根据使用要求,规定高精度轴为 0.001 ~ 0.005 mm,一般精度轴为 0.01 ~ 0.03 mm。此外,还有内外圆柱面的同轴度和轴线定位端面与轴心线的垂直度要求等。

根据零件的表面工作部位的不同,有不同的表面粗糙度要求。一般支承轴颈的表面粗糙度值为 $Ra\ 0.8 \sim 0.2\ \mu\text{m}$,配合轴颈或工作表面的表面粗糙度值为 $Ra\ 3.2 \sim 0.8\ \mu\text{m}$ 。

根据轴的强度和耐磨性需要,轴的支承轴颈、配合轴颈或工作表面还有热处理(表面淬火、渗碳淬火等)的要求;有些高转速的轴类零件有动平衡试验要求;有些特殊用途的轴类零件须经探伤检查等;一些轴类零件为了提高强度、避免或减少应力集中,在轴肩处还有过渡圆角要求。

3. 轴类零件的材料及毛坯

轴类零件选材时应满足其力学性能(包括材料强度、韧性和耐磨性等),同时,选择合理的热处理方法,使其达到良好的强度、刚度和表面硬度。

一般轴类零件常选用 45 钢,通过正火、调质、淬火等不同的热处理工艺,获得一定的强度、韧性和耐磨性。对于中等精度和转速较高的轴,可选用 40Cr 等合金结构钢,通过调质和表面淬火获得较好的综合力学性能。对于高精度轴,可选用轴承钢 GCr15 和弹簧钢 65Mn 等材料,通过调质和表面淬火获得更好的耐磨性和耐疲劳性。

对于高转速和重载荷轴,可选用 20CrMnTi、20Cr 等低碳钢或 38CrMoAl 氮化钢,经过渗碳淬火或氮化处理获得高的表面硬度、耐磨性和心部强度。氮化钢的热处理变形很小。

结构复杂的轴类零件(如曲轴等)也可用高强度铸铁和球墨铸铁来制造。常用的铸铁材料有 HT400、QT600、QT450、QT400 等。

轴类零件最常用的毛坯是圆棒料和锻件。光轴、直径相差不大的轴一般选用棒料,重要的轴大都采用锻件,以保证金属内部纤维组织的均匀连续分布,获得较高的抗拉、抗弯及抗扭强度;某些大型的或结构复杂的轴可采用铸件毛坯。

应根据生产规模的大小来决定毛坯的锻造方式。单件小批生产,一般宜采用自由锻造;模锻因需要专用的设备、锻模,故适用于成批大量生产。

4.1.2 轴类零件的外圆表面加工

1. 外圆表面的车削加工

(1) 车削外圆各个加工阶段

外圆表面的车削加工一般可划分为粗车、半精车、精车和精细车等,所达到的经济加工精度和表面粗糙度值见表 3.5 所示。粗车是粗加工,从毛坯上切去大部分余量,以尽快获得接近于最后的工件形状和尺寸的操作。半精车是为了进一步提高零件的加工精度和改善表面质量。半精车可作为中等精度表面的终加工,也可作为高精度表面在磨削前的预加工。精车既可作为较高精度外圆表面的终加工,又可作为光整加工表面的预加工。精细车是高精度外圆表面的最终加工工序,适用于有色金属零件的加工。

(2) 细长轴外圆表面的车削

1) 细长轴的车削特点 长度与直径之比大于 20 ($L/D > 20$) 的轴称为细长轴。其车削特点为:① 细长轴刚性差,在切削过程中受切削力的作用极易产生弯曲变形和振动;② 在切削热的作用下,产生很大的线膨胀,若两端顶尖固定支承,则会弯曲变形;③ 加工中连续切削时间长,刀具磨损大,影响加工精度和表面质量。

2) 细长轴的先进车削方法 ① 改进工件装夹方式(如图 4.2 所示),一般采用一夹一顶的方法。同时在工件端部缠绕一圈直径为 $\phi 4$ 的钢丝,以减少接触面积,避免夹紧时形成弯曲力矩;② 尾座顶尖改为弹性顶尖,避免工件受热弯曲变形;③ 采用跟刀架,以提高工件的刚度。但必须仔细调整跟刀架,否则,反而会造成工件的“竹节”形误差;④ 为减小背向力,尽量采用大主偏角车刀,一般取 $\kappa_r = 75^\circ \sim 93^\circ$;⑤ 采用反向进给切削,改变工件受力方向,可减少工件的弯曲变形。

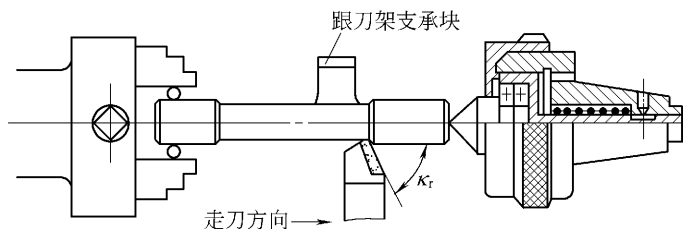


图 4.2 细长轴的先进车削方法

2. 外圆表面的磨削加工

磨削加工是轴类零件外圆精加工的主要方法,既能加工淬火零件,也可加工

非淬火零件。根据不同的精度和表面质量要求,磨削可分为粗磨、精磨、细磨和镜面磨削等。粗磨后工件表面可达 IT8、IT9 级精度,表面粗糙度值为 $Ra 1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$; 精磨后可达到 IT6、IT7 级精度,表面粗糙度值为 $Ra 0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$; 细磨(精密磨削)后精度达 IT5、IT6 级,表面粗糙度值为 $Ra 0.2 \sim 0.1 \mu\text{m}$; 镜面磨削后表面粗糙度值 Ra 可达 $0.01 \mu\text{m}$ 。通过磨削加工能有效提高轴类零件尤其是淬硬件的加工质量。

(1) 中心磨削

在外圆磨床上以工件的两顶尖孔定位进行磨削外圆。

(2) 无心磨削

如图 4.3 所示,工件放在无心磨床的砂轮和导轮之间,用托板支承。导轮用橡胶结合剂将磨粒粘结而成,导轮的安装倾斜一角度 α ,导轮速度 $v_{\text{导}}$ 分解为水平和垂直的两个分量,一个带动工件旋转,一个带动工件作轴向进给运动。砂轮高速旋转以磨削工件。无心磨削精度可达 IT6、IT7 级,表面粗糙度值可达 $Ra 0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$,但相互位置精度不高,且不能加工表面圆周不连续的工件。无心磨生产率高,配备适当的自动上料机构,可实现自动磨削,适合于大批量生产。

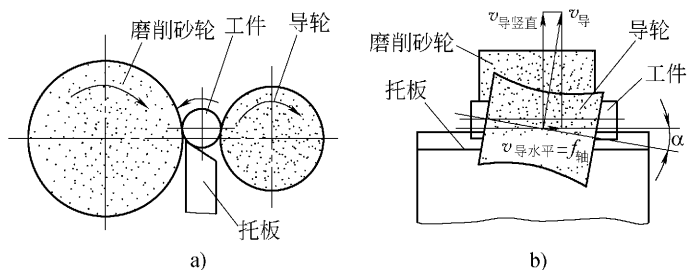


图 4.3 外圆无心磨削加工示意图

(3) 砂带磨削

是用粘满砂粒的砂布作为磨削工具的一种加工方法(图 4.4)。由静电植砂制作的砂带,磨粒尖端向上均匀排列。砂带与工件柔性接触,磨粒载荷小且均匀,同时具有磨削和抛光双重作用,表面粗糙度值可达 $Ra 0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$,最高可达 $Ra 0.02 \mu\text{m}$,表面不会烧伤。砂带磨削为弹性磨削,切削力小,特别适宜加工细长轴等刚度较差的零件。砂带磨削设备简单,成本低,较为安全,生产率高,可用于内、外表面及成形表面加工。近年来获得空前的发展和应用。

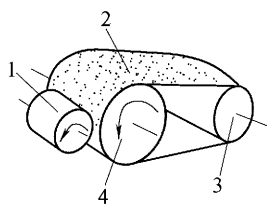


图 4.4 砂带磨削示意图

1—工件 2—砂带

3—张紧轮 4—接触轮

3. 外圆表面的精密加工

(1) 高精度磨削

使工件表面粗糙度值小于 $Ra\ 0.1\ \mu\text{m}$ 的磨削工艺,通常称为高精度磨削。它可分为精密磨削 ($Ra\ 0.1 \sim 0.05\ \mu\text{m}$)、超精密磨削 ($Ra\ 0.05 \sim 0.025\ \mu\text{m}$) 和镜面磨削 ($Ra\ 0.01\ \mu\text{m}$)。

高精度磨削的实质在于砂轮磨粒的作用。经过精细修整的砂轮的磨粒形成许多微刃(图 4.5),这些微刃的等高性程度高,参加磨削的磨粒大大增加,从工件表面切下微细的切屑,形成表面粗糙度值较小的表面。随着磨削过程的进行,微刃逐渐磨损而进入半钝期。半钝化的磨粒在一定压力作用下产生摩擦抛光作用,表面粗糙度值进一步减小。最后磨粒处于钝化期,起挤压抛光作用,使工件获得更小的表面粗糙度值。

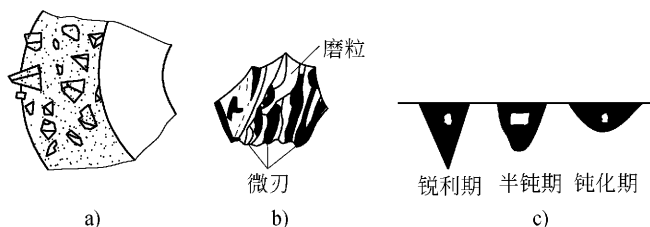


图 4.5 磨粒的微刃及其变化

(2) 超精加工

超精加工是用细粒度的油石对工件施加很小的压力,并作往复振动和慢速纵向进给运动,工件低速回转,磨粒在工件表面上形成不重复的轨迹,如图 4.6 所示。

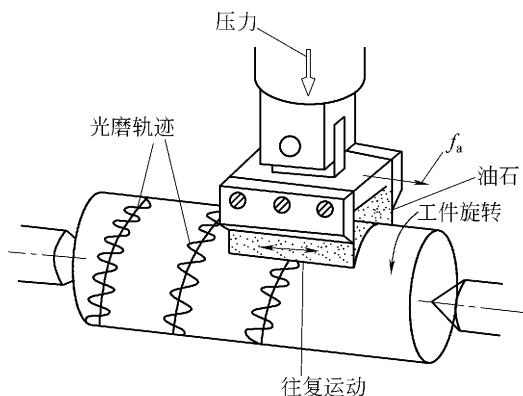


图 4.6 超精加工原理

超精加工过程可分为四个阶段 ① 强烈切削阶段 ,开始时工件表面粗糙 ,油石与凸峰接触压强大 ,油膜被破坏 ,切削作用强烈 ;② 正常切削阶段 ,当表面少数凸峰磨平后 ,接触面积增加 ,压强降低 ,使切削作用减弱而进入正常切削阶段 ;③ 微弱切削阶段 ,随着接触面积增大 ,压强更低 ,磨粒磨钝 ,起摩擦抛光作用 ,使工件表面光滑 ;④ 自动停止切削阶段 ,油石和工件表面的接触面积大为增加 ,压强很小 ,形成油膜而不再接触 ,切削作用停止。整个加工过程时间为 30 s 左右 ,生产率高。

由于磨粒具有较复杂的运动轨迹 ,有摩擦抛光作用 ,工件表面形成交叉网纹 ,表面粗糙度值可达 $Ra\ 0.1 \sim 0.01\ \mu\text{m}$ 。同时由于切削速度低 ,油石压力小 ,故磨削发热少 ,工件表面不会被烧伤。只能切除工件表面凸峰 ,不能纠正工件的形状和位置误差 ,故主要用来降低表面粗糙度值。

(3) 研磨

研磨是用研具在一定压力下与加工面作相对运动 ,附着或压嵌在研具表面上的磨粒和研磨剂 ,从工件表面上研去一层极薄的材料的精加工方法。研具一般采用比工件软的材料(铸铁、铜等)制作 ,图 4.7 所示为手工用研套 ,孔内有油槽可储存研磨剂。研磨剂是磨料、研磨液和辅助材料的混合剂。研磨过程中 ,大量磨粒受压力作用滚动、刮擦和挤压 ,切除微细材料 ,是机械切削作用 ;磨粒与工件接触点局部压力大 ,瞬时产生高温、挤压作用 ,是物理作用 ;研磨剂使工件表面氧化变软 ,加速研磨过程 ,是化学作用。

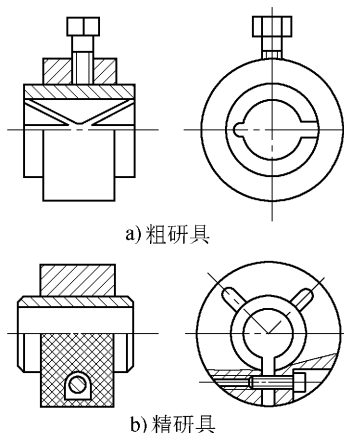


图 4.7 外圆手工研磨工具

研磨时研具和工件的相对运动较复杂 ,每一个磨粒不会重复自己的运动轨迹 ,有利于去除工件表面上的凸峰 ;表面粗糙度值可达 $Ra\ 0.2 \sim 0.01\ \mu\text{m}$,可提高工件的尺寸和形状精度 ,但不能提高表面的相互位置精度 ;研磨不需要复杂的

设备,方法简便可靠。但生产率低,手工研磨劳动强度大。

(4) 滚压

滚压是利用滚轮或滚珠,对旋转工件的表面进行常温下加压(图 4.8),使受压表面产生弹性和塑性变形,不仅能降低表面粗糙度值($Ra\ 0.4 \sim 0.05\ \mu\text{m}$),还使表面的金属组织结构和性能发生变化,晶粒变细,并沿变形方向延伸呈纤维状,表面留下残余压应力,使零件表面的抗疲劳强度、耐磨性和耐腐蚀性都有显著提高,但不能提高零件的形状和位置精度。滚压设备简单,生产率高,工艺范围广,适用于塑性材料,并要求材料组织均匀。

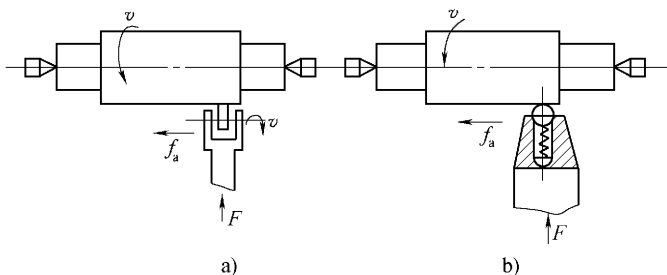


图 4.8 滚压加工示意图

4.1.3 轴类零件加工工艺分析

轴类零件加工的主要工艺问题是如何保证各主要表面间的相互位置精度。

1. 车床主轴的加工工艺

图 4.9 为 CA6140 车床主轴的零件简图。该零件为多阶梯结构的空心轴。根据主轴的功用和工作条件,主要技术要求有:① 支承轴颈 A、B(锥度 1:12)是主轴在机床上的安装基准,其圆度误差和同轴度误差将直接影响机床的精度。支承轴颈 A、B 的圆度、径向圆跳动公差 $0.005\ \text{mm}$,锥面接触率 $\geq 70\%$,尺寸精度 IT5 级,表面粗糙度值 $Ra\ 0.4\ \mu\text{m}$ 。② 莫氏锥孔是用于安装顶尖或夹具的定心表面,莫氏锥孔对支承轴颈 A、B 的圆跳动,近端 $0.005\ \text{mm}$,远端 $0.01\ \text{mm}$,锥面接触率 $\geq 70\%$,表面粗糙度值 $Ra\ 0.4\ \mu\text{m}$,有淬硬要求。③ 短锥 C 和端面 D 是卡盘的安装基准面,对支承轴颈 A、B 的圆跳动 $0.008\ \text{mm}$,表面粗糙度值 $Ra\ 0.8\ \mu\text{m}$,有淬硬要求。④ 配合轴颈用于安装传动齿轮等,其尺寸精度为 IT5、IT6 级,对支承轴颈 A、B 的圆跳动 $0.015\ \text{mm}$ 。⑤ 其他表面如轴向定位轴肩与中心线的垂直度,螺纹中心与中心线的同轴度等要求。

表 4.1 为主轴加工工艺过程。材料 45 钢,毛坯为模锻件,大批量生产。

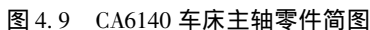


表 4.1 CA6140 车床主轴加工工艺过程

工序	工 序 内 容	定 位 基 准
10	锻造	
20	热处理 :正火	
30	铣端面钻中心孔	外圆与端面
40	粗车各外圆	一头夹、一头顶
50	热处理 :调质 220 – 240 HBS	
60	半精车大端各部	中心孔
70	仿形车小端各部	中心孔
80	钻通孔	夹小头 托大头
90	粗车莫氏 6 号锥孔和短锥 C	夹小头 托大头
100	精车后锥孔(工艺要求)	夹大头 托小头
110	钻大端面各孔及攻螺纹	大端莫氏 6 号锥孔
120	精车小端外圆并切槽	一头夹、一头顶
130	热处理 :高频淬火支承轴颈、短锥 C、莫氏 6 号锥孔	

续表

工序	工序内容	定位基准
140	粗磨莫氏 6 号锥孔	$\phi 75h6$ 、 $\phi 100h6$ 外圆
150	磨后锥孔(工艺要求)	$\phi 75h6$ 、 $\phi 100h6$ 外圆
160	粗磨 $\phi 75h6$ 、 $\phi 90g7$ 及 $\phi 100h6$ 外圆及端面	锥堵中心孔
170	铣花键	锥堵中心孔
180	铣键槽	外圆表面
190	车三处螺纹	锥堵中心孔
200	精磨各外圆及端面	锥堵中心孔
210	粗精磨短锥 C 和 $1:12$ 外锥面	锥堵中心孔
220	精磨莫氏 6 号锥孔	支承轴颈 A 及 $\phi 75h6$ 外圆
230	检验	

2. 车床主轴的加工工艺分析

(1) 定位基准的选择

轴类零件的定位基准,最常用的是两中心孔。因为一般轴的设计基准都是其中心线,用中心孔定位,可实现基准重合,且能最大限度地在这次安装中加工尽可能多的外圆和端面,符合基准统一的原则。在通孔加工后,不能用中心孔来定位,就采用带有中心孔的锥堵或锥堵心轴(如图 4.10)来定位。为保证锥堵与中心孔有较高的同轴度,锥堵安装后应尽量减少更换次数。

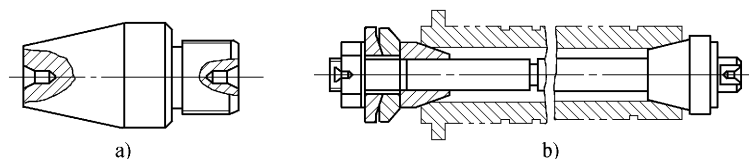


图 4.10 锥堵与锥堵心轴

另外,主轴设计基准本质上是支承轴颈 A 、 B 的中心线,应该用支承轴颈定位,实现基准重合。以支承轴颈 A 、 B 为基准磨削莫氏锥孔,可保证两者间的很高的相互位置精度。当支承轴颈是锥面时,宜选择与其临近且与其同轴度高的轴颈作定位基准面(与支承轴颈在一次安装中磨出)。

在主轴的加工中,还要贯彻中心孔和支承轴颈互为基准,反复加工的原则。在机加工开始,先以外圆定位(粗基准)加工两端面和中心孔,为后续工序准备精基准。再以中心孔定位,加工外圆。在通孔加工后,以外圆为精基准,加工莫

氏锥孔和后锥孔。配上锥堵后,以锥堵中心定位精加工外表面。最后以精加工后的支承轴颈定位精磨莫氏锥孔。

在主轴加工工艺中,定位基准的正确选择、实现和转换是一个很重要的问题。在某种程度上说,工艺过程实质是定位基准的准备和转换的过程,各表面的加工也是在此基础上实现的。因此定位基准在很大程度上决定着加工顺序。

(2) 加工阶段的划分

从表 4.1 主轴加工的工艺过程中可以看出其加工过程是以主要表面(特别是支承轴颈)的加工为主线,大致分为三个阶段:调质以前的工序为粗加工阶段,调质以后到表面淬火间的工序为半精加工阶段,表面淬火以后的工序为精加工阶段。其中适当穿插其他次要表面的加工工序。

(3) 合理安排热处理工序

在主轴加工的过程中,应安排足够的热处理工序。毛坯锻造后安排正火处理,以消除锻造应力,改善切削性能。粗加工后安排调质处理,以提高其力学性能,并为表面淬火准备良好的金相组织。半精加工后安排表面淬火处理,以提高其耐磨性。

(4) 加工顺序的安排

根据先基准后其他、先粗后精、先主后次、穿插进行的工艺原则,主轴主要加工表面的工序安排大致如下:锻造→正火→车端面钻中心孔→粗车→调质→半精车→精车→表面淬火→粗、精磨外圆表面→磨锥孔。

外圆表面的加工顺序一般为先加工大端直径外圆,然后再加工小端直径外圆,以免一开始就降低工件的刚度。

(5) 次要表面的加工安排

主轴通孔的加工应安排在调质后进行,以免调质使通孔产生弯曲变形而影响棒料的通过;且应安排在外圆半精车后进行,以便有一个较准确的定位基准,保证孔和外圆同轴,使主轴壁厚均匀。

主轴上的花键、键槽等的加工,一般应在外圆精车或粗磨后、精磨前进行。若在精车前就铣出键槽,精车时断续切削会产生振动,影响加工质量,又容易损坏刀具,同时也难控制键槽的尺寸要求。若放在外圆精磨后进行,又可能破坏主要表面已有的精度。

主轴上的螺纹均有较高的要求,宜安排在主轴局部淬火后进行。否则,淬火后产生的变形,会影响螺纹和支承轴颈的同轴度误差。

(6) 主轴锥孔的磨削

锥孔磨削是主轴加工的最后一个关键工序,目前已普遍采用磨主轴锥孔专用夹具来保证其加工精度,如图 4.11 所示。在夹具中镶硬质合金的 V 形块固定在夹具支架上,主轴前后两支承轴颈在 V 形块上定位。工件的中心高等于砂

轮轴的中心高。夹具后端的浮动卡头用锥柄安装在磨床主轴的锥孔内。工件尾端插入弹性套内,用弹簧把浮动卡头外壳连同工件向左拉,通过钢球压在锥柄的端部,限制工件的轴向自由度。采用这种弹性浮动夹头驱动工件转动的联结方式,可保证工件支承轴颈的定位精度不受内圆磨床主轴回转精度的影响,也可减少机床振动对加工质量的影响。

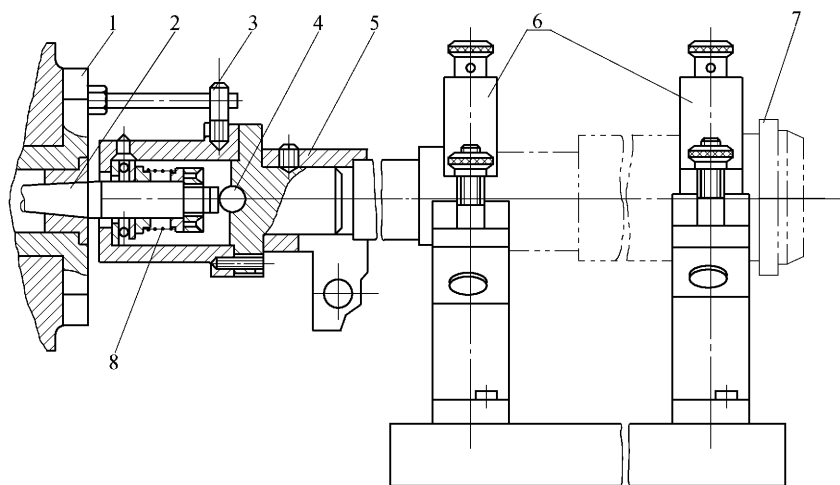


图 4.11 磨主轴锥孔专用夹具

1—拨盘 2—锥柄 3—拨销 4—钢球 5—弹性套 6—支架 7—工件 8—弹簧

4.2 套筒类零件加工

4.2.1 概述

1. 套筒类零件的结构特点

套筒类零件是机械中常见的零件之一,应用广泛。如支承旋转轴的滑动轴承,引导刀具的钻套和镗套,液压油缸,内燃机汽缸套以及一般用途的套筒等(见图 4.12)。由于功用不同,其结构和尺寸差别很大,但仍有共同的特点:零件的主要表面为同轴度要求较高的内外回转面,壁厚较薄易变形,长度一般大于直径等。

2. 套筒类零件的技术要求

内孔是套筒类零件起支承和导向作用的最主要表面,通常与旋转轴、刀具和活塞等相配合。孔的直径尺寸精度一般为 IT6、IT7 级,汽缸和液压缸由于与其相配合的活塞上有密封圈,要求较低,一般取 IT9 级。孔的形状精度一般控制在

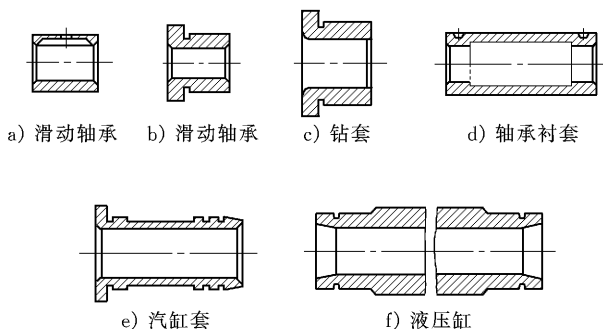


图 4.12 套筒类零件

孔径公差以内,有些精密套筒为孔径公差的 $1/2 \sim 1/3$,甚至更严。对于长的套筒,还应限制孔的圆柱度公差。孔的表面粗糙度值为 $Ra\ 1.6 \sim 0.2\ \mu\text{m}$,甚至 $0.04\ \mu\text{m}$ 。

外圆是套筒类零件的支承面,常以过盈配合或过渡配合同箱体或机架上的孔相连接。外径的尺寸精度通常为 IT6、IT7 级,形状精度控制在外径公差以内,表面粗糙度值为 $Ra\ 3.2 \sim 0.8\ \mu\text{m}$ 。

内孔与外圆的同轴度要求一般为 $0.01 \sim 0.05\ \text{mm}$,还有端面与轴线垂直度要求等。

3. 套筒类零件的材料及毛坯

套筒类零件所用的材料取决于工作条件,一般有钢、铸铁、粉末冶金、铜及其合金、尼龙和工程塑料等。有些滑动轴承采用双金属结构,在钢或铸铁套的内壁上浇铸巴氏合金等轴承合金材料,既可节省贵重金属,又能提高轴承的寿命。

套筒类零件的毛坯选择与其材料、结构、尺寸及生产批量等因素有关。孔径较小的套筒,一般选择热轧或冷拉棒料,也可采用实心铸件。孔径较大时,常采用无缝钢管或带孔的空心铸件和锻件。大量生产时可采用冷挤压和粉末冶金等先进的毛坯制造工艺,既提高生产效率,又节约材料。

4.2.2 套筒类零件的内孔表面加工

常用的套筒类零件的内孔表面加工方法有钻孔、扩孔、铰孔、镗孔、拉孔、磨孔、研磨孔、珩磨孔和滚压孔等。各种加工方法的经济精度见表 3.6 所示。

1. 套筒类零件内孔的一般加工方法

(1) 钻孔

钻孔是用钻头在实体材料上加工孔的方法,常用的刀具是麻花钻。钻孔的特点是钻孔时钻头易偏斜,钻孔排屑困难,切削热不易散发,钻孔轴向力大,精度

低,表面粗糙度值大。工艺上常采用钻孔前先加工端面,采用工件回转等措施以防止和减少钻头的偏斜。

(2) 扩孔

扩孔是用扩孔钻来扩大已有的孔径进行半精加工的方法。扩孔钻刚性好,刀齿较多,切削深度小,易排屑,所以切削平稳,导向性好,可矫正钻孔轴线的偏斜。扩孔常作为铰孔等精加工前的准备工序,也可作为要求不高的孔的最终工序。

(3) 铰孔

铰孔是用铰刀对未淬硬的中小尺寸的孔进行精加工的一种方法。铰削余量小,切削速度较低,铰刀齿数多,刚性好且制造准确,排屑润滑条件好,故铰孔后孔的尺寸精度、形状精度得到提高。铰孔精度主要取决于铰刀精度,但铰孔时铰刀在工件孔内自定位,所以一般不能修正孔的位置误差,孔的位置误差应由铰孔前的工序来保证。铰刀在机床上常采用浮动夹头与主轴浮动连接。铰孔不宜用于台阶孔、盲孔、短孔和具有断续表面的孔。

生产中经常采用在工件一次安装下连续进行钻、扩、铰加工,既可避免工件安装误差的影响,又能因快速更换刀具,使加工更方便,生产率高。用图 4.13 所示的快换夹头,可达到不停车而迅速更换刀具的目的。

(4) 镗孔

镗孔是用镗刀对工件上已有的未淬硬孔作进一步加工的方法,既可作为粗加工,也可作为精加工。镗孔可以在镗床、车床、铣床等上进行,可加工通孔、盲孔、阶梯孔和孔内凹槽等表面,适用性强,镗刀结构简单,成本低,经济性好。镗孔常用单刃刀具,纠正原有孔的位置偏差的能力强,能获得较高的位置精度。因受孔的尺寸的限制,一般刀杆刚性较差,易产生振动,镗孔质量不易控制,生产率较低,广泛应用于单件小批生产中。

(5) 拉孔

拉孔是在拉床上用拉刀加工孔的高效的精加工方法,加工平稳,尺寸精度高,表面粗糙度值小。拉孔时,以工件端面为支承面,工件一般不夹紧。拉刀在工件孔内自定位,故拉孔难以保证孔与其他表面间的相互位置精度。拉刀是多刃刀具,同时参加切削的刀刃多,一次拉削可完成粗、精加工,生产效率高。但拉刀结构复杂,成本较高,适应性差,一把拉刀只能加工一种尺寸的孔,故一般用于

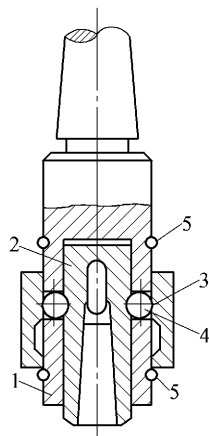


图 4.13 快换夹头

1—柄部 2—套筒 3—外套
4—钢球 5—弹簧圈

成批大量生产中,且不能拉阶梯孔、盲孔和大孔。

(6) 磨孔

磨孔是用高速旋转的砂轮对淬硬或未淬硬孔进行精加工的方法。磨孔与磨外圆相比,工作条件较差,砂轮受工件孔的限制,直径小,磨削速度低,砂轮轴直径较小,刚性差,容易变形,砂轮与工件接触面积大,排屑和散热困难,冷却不便,工件易烧伤,砂轮磨损快,需经常修整更换。因此,磨孔的质量和生产率都不如磨外圆。但磨孔的适用性广,被加工孔的相互位置精度高,在单件小批生产中应用很广。特别对于淬硬的孔、盲孔、大直径孔、短的精密孔以及断续表面的孔(带键槽或花键孔),磨孔是主要的加工方法。但磨孔不适用于磨削有色金属。增加内圆磨头的转速是提高磨孔生产率的主要途径。如采用 100 000 r/min 的风动磨头,可磨削 1~2 mm 直径小孔而获得较好的加工质量和较高的生产率。

(7) 深孔加工

一般将孔的长径比 $L/D > 5$ 的孔称为深孔。深孔加工的工艺难点为:刀具细长,刚性差,加工中容易使孔的轴线歪斜;冷却散热条件差;排屑困难,严重时引起刀具崩刀或折断。应采取的工艺措施有:采取工件旋转的方式以及改进刀具导向结构,减少刀具的引偏;采用压力输送切削液,冷却刀具和排屑;改进刀具结构,强制断屑,有利切屑顺利排出。单件小批生产的深孔加工,常在卧式车床上进行。成批生产,常在深孔加工专用机床(图 4.14)上进行。

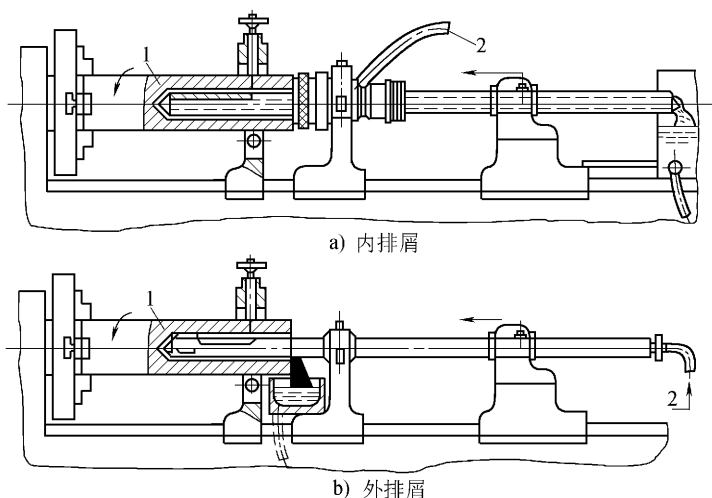


图 4.14 深孔加工示意图

1—工件 2—切削液

2. 套筒类零件内孔的精密加工

(1) 珩磨

珩磨是对精加工过的孔进行光整加工的一种方法,是低速、大面积接触的磨削加工,与磨削原理基本相同。珩磨所用的磨具是几根粒度很细的砂条所组成的珩磨头。珩磨时,主轴与珩磨头浮动连接并驱动珩磨头作旋转运动和往复运动,砂条还有加压力的径向运动。珩磨头的旋转运动和往复运动是珩磨的主运动,这两种运动的组合,使砂条上磨粒在孔的表面上切去极薄的一层金属,其切削轨迹形成交叉而不重复的网纹,如图 4.15 所示。径向加压运动是砂条的进给运动,压力越大,进给量就越大。

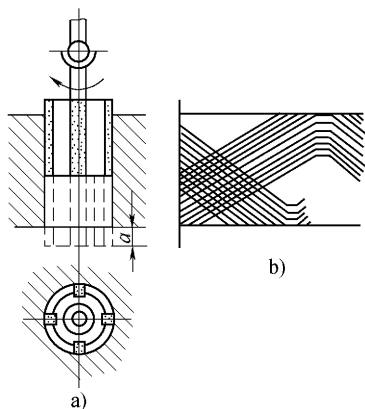


图 4.15 珩磨运动及其切削轨迹

珩磨利用珩磨头在专用的珩磨机上进行。珩磨头的结构形式很多,图 4.16 是一种简单的利用螺纹加压的珩磨头。本体 1 通过浮动联轴器和机床主轴连接,砂条 5 和砂条座 3 粘结装入本体的槽中,砂条座两端由弹簧箍 6 箍紧。旋转螺母 8 使螺母向下时,就推动调整锥 2 向下移动,通过顶块 4 使砂条径向张开而获得工作压力。加工时因砂条磨损和孔径增大,使接触压力逐渐减弱,因此必须经常调整螺母。这种磨头结构简单,但操作不便,只用于单件小批生产。成批以上生产中常用压力恒定的气体或液体加压的珩磨头,工作时自动外胀进给,以保持稳定可靠的工作接触压力。

珩磨时砂条与孔接触面积大,参加磨削的磨粒很多,每个磨粒的磨削力很小,珩磨的速度很低,发热少,孔表面不易烧伤,且变形层极薄,孔的表面质量很高。同时,珩磨能获得很高的尺寸精度和形状精度。但由于珩磨头与机床主轴浮动联结,珩磨头在孔内自定位,故珩磨不能纠正被加工孔的相互位置精度。

虽珩磨的转速很低,但其往复速度较高,且参加切削的磨粒很多,能很快切除金属,故生产效率很高。

珩磨的应用范围很广,可加工铸铁件、淬火和不淬火钢件以及青铜件等,但不宜加工易堵塞砂轮的韧性金属工件。加工的孔径为 $\phi 5 \sim 500$ mm,孔的深径

比可达10以上。珩磨广泛用于大批量生产中,如加工内燃机的汽缸、液压装置的液压缸等。单件小批生产可在立式钻床或改装的简易设备上利用珩磨头进行珩磨。

(2) 研磨

研磨孔的原理及特点与研磨外圆相同。研具用比工件软的材料(如低碳钢、铸铁、铜、巴氏合金等)制成。图4.17a)为常用的铸铁粗研具,表面开槽以存研磨剂,研磨棒的直径可用螺钉调节。图4.17b)为精研具,由低碳钢制成。研磨可提高工件的尺寸和形状精度,但不能提高表面的相互位置精度,孔的位置精度只能由前工序保证。研磨生产率较低。

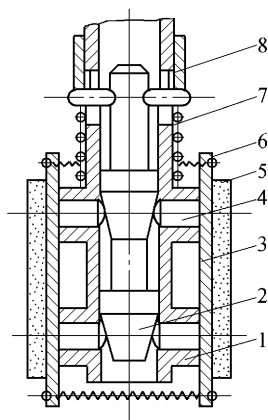


图 4.16 利用螺纹调压的珩磨头

- 1—本体 2—调整锥 3—砂条座 4—顶块
5—砂条 6—弹簧箍 7—弹簧 8—螺母

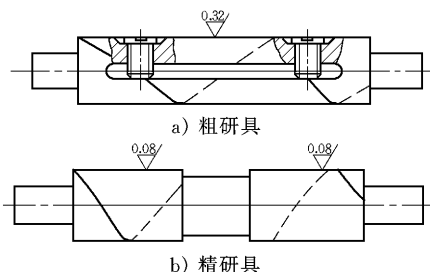


图 4.17 研磨棒

(3) 滚压

滚压孔的原理及特点与滚压外圆相同。图4.18所示为一油缸滚压头。滚压内孔表面的圆锥形滚柱3支承在锥套5上。滚压前,旋转调节螺母11使其相对心轴1沿轴向移动,当其向左移动时,推动过渡套10、止推轴承9、衬套8及套圈6,经销子4使圆锥形滚柱沿锥套的表面向左移,结果使滚压头的径向尺寸缩小。当调节螺母向右移动时,由压缩弹簧7压移衬套,经止推轴承使过渡套始终紧贴调节螺母的左端面,同时衬套右移时带动套圈经盖板2使圆锥形滚柱也沿轴向右移,结果使滚压头的径向尺寸增大。当滚压结束,滚压头从孔中退出时,圆锥形滚柱受到一个向左的轴向力,传给盖板2,经套圈、衬套将压缩弹簧压缩,实现了向左移动,使滚压头直径缩小,保证其从孔中退出时不碰伤已滚压好的孔壁。滚压头完全退出后,在压缩弹簧的作用下复位,使径向尺寸又恢复到原调整值。

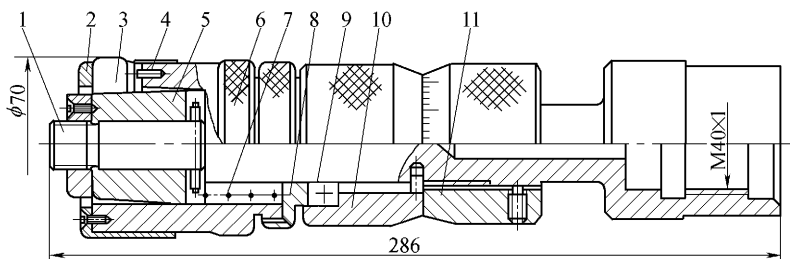


图 4.18 油缸滚压头

1—心轴 2—盖板 3—圆锥形滚柱 4—销子 5—锥套 6—套圈
7—压缩弹簧 8—衬套 9—止推轴承 10—过渡套 11—调节螺母

4.2.3 套筒类零件加工工艺分析

套筒类零件由于功用、结构形状、材料以及尺寸不同,其工艺差别很大。按结构形状来分,大体为短套筒与长套筒两种。它们的加工方法及工件装夹方式有很大的差别。以下将分析这两类套筒的加工工艺。

1. 套筒类零件的加工工艺

(1) 短套筒类零件的加工工艺

图 4.19 所示为钻床主轴套筒零件图。主轴套筒是钻床的关键零件。内孔 B 、 C 为主轴的支承孔,尺寸精度为 $J7$,圆柱度 0.01 mm ,与外圆的同轴度要求为 $\phi 0.012\text{ mm}$,其内端面对外圆轴线的跳动要求为 0.01 mm 。外圆安装在主轴箱

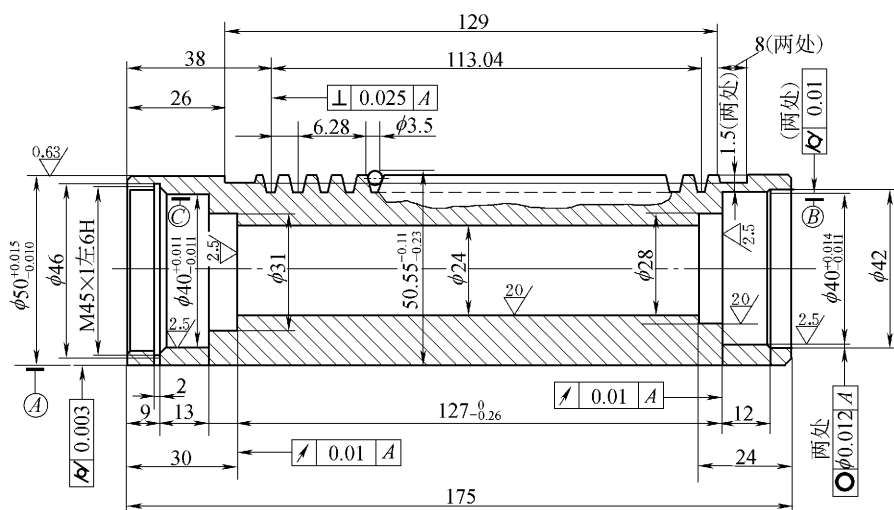


图 4.19 钻床主轴套筒零件简图

的孔内,由齿轮轴带动而上下移动,实现主轴的轴向进给。外圆尺寸精度为 $j7$,圆柱度 0.003 mm ,表面粗糙度值 $Ra\ 0.63\ \mu\text{m}$ 。表 4.2 为主轴套筒的加工工艺过程。材料 45 钢,毛坯为棒料,成批生产。

表 4.2 某钻床主轴套筒的加工工艺过程

工序	工 序 内 容	定位与夹紧
10	备料 $\phi 55\text{ mm} \times 180\text{ mm}$	
20	钻孔 $\phi 24\text{ mm}$	外圆
30	粗车外圆	孔(两端顶夹)
40	调质 245HBA	
50	半精车外圆,留余量 0.6 mm	孔(两端顶夹)
60	半精车右端面、各阶梯孔(B 孔留余量 1 mm),孔口倒角 $2 \times 60^\circ$ (工艺用),调头车端面、各阶梯孔(C 孔留余量 1 mm),切槽,车螺纹,孔口倒角 $2 \times 60^\circ$ (工艺用)	外圆
70	检验	
80	粗磨外圆,留余量 0.2 mm	$2 \times 60^\circ$ 两处顶夹
90	铣齿	外圆、端面
100	铣槽两处	外圆、齿槽
110	检验	
120	热处理:低温时效	
130	修研两端孔口 $2 \times 60^\circ$ 倒角	外圆
140	精磨外圆至要求	$2 \times 60^\circ$ 两处顶夹
150	检验	
160	精车内孔 B ,调头精车内孔 A (切除工艺倒角)	外圆、液塑定心夹具
170	检验	

分析主轴套筒的加工工艺,有如下特点:

1) 选择以外圆或外圆两端孔口的工艺倒角作为定位基准面,本质都是外圆的中心线,实现了基准重合,且可在大多数工序中使用,实现基准统一,有利于保证内孔及内端面对外圆的相互位置精度要求。而孔口工艺倒角和外圆又互为基准,经多次反复加工,两者间的相互位置精度也逐渐提高。

2) 用热处理工序将工艺路线划分为三个阶段:调质之前为粗加工阶段;调质到时效之间为半精加工阶段;时效以后为精加工阶段。

3) 主轴套筒形状结构较复杂,在外圆表面上铣齿后,会因其结构不对称而引起内应力弯曲变形。因此,除了安排调质处理以稳定其组织性能外,还在铣齿

1) 该零件长而壁薄,为保证内孔及其端面对外圆的相互位置精度要求,选择外圆装配面 A 、 B 为定位基准,加工内孔,实现基准重合、基准统一。为避免薄壁受夹紧力而引起变形,一端车出工艺螺纹,夹紧时用螺纹旋紧工件,故改变其受力方向为轴向受力;另一端定位面也适当增加厚度,夹紧时用中心架托住外圆。这种装夹方式与一般深孔加工时的装夹方式相同。最后工序用软爪夹住一端,避免夹紧变形,另一端以内孔定位用顶尖顶住工件,精车外圆,再以外圆用中心架托住,找正内孔,镗内锥面。

2) 内孔的加工精度要求较高,粗加工采用半精镗,半精加工采用精镗,精加工采用浮动镗,光整加工采用滚压的加工方法。套类零件孔的光整加工方法有珩磨、滚压、研磨等,滚压后的表面质量高,耐磨性更好。但目前对铸造液压缸尚未采用滚压工艺,原因是铸件表面的缺陷(如疏松、气孔、砂眼、硬度不均等)对滚压有很大影响,会导致滚压加工误差增大。

2. 套筒类零件的加工工艺分析

如何保证主要表面间的相互位置精度要求和防止薄壁的变形是套筒类零件加工的关键。

(1) 保证套筒表面相互位置精度的方法

从套筒类零件的技术要求已知,其主要位置精度是内外圆表面之间的同轴度要求及端面对孔轴线的垂直度要求。通常采用以下方法:

1) 在一次装夹中完成所有内外圆表面及端面的加工。这种方法消除了工件的装夹误差,可获得很高的相互位置精度。该方法工序比较集中,适用于小尺寸的结构简单的套类零件的加工。

2) 分多次装夹,先终加工孔,然后以孔为基准最终加工外圆。这种方法由于所用的夹具(如各种心轴)结构简单,定心精度高,可以保证较高的相互位置精度,故应用非常广泛。

3) 分多次装夹,先终加工外圆,然后以外圆为基准最终加工孔。采用这种方法时,工件装夹迅速可靠,但夹具结构较复杂。为获得较高的位置精度,必须采用高精度的定心夹具,如液性塑料定心夹具、弹性薄膜卡盘等及经过修整的三爪自定心卡盘和软爪等夹具。

(2) 防止套筒薄壁变形的工艺措施

套筒类零件孔壁较薄,加工中常因夹紧力、切削力、残余应力和切削热等因素的影响而产生变形,为防止变形,应采取以下的工艺措施:

1) 为减少切削力和切削热的影响,粗精加工应分阶段进行,使变形可以在精加工阶段中得到纠正。

2) 为减少夹紧力的影响,应采取的措施有:① 改变夹紧力的方向,即将径向夹紧改为轴向夹紧。如液压缸加工中用工艺螺纹来装夹工件。② 若需径向

夹紧时,应尽量采取措施使径向夹紧力均匀分布。如使用过渡套、液性塑料定心夹具、弹性薄膜卡盘等及经过修整的三爪自定心卡盘和软爪等夹具夹紧工件。

③ 在工件上加工出辅助工艺凸边以提高其径向刚度,减少夹紧变形。如图 4.21 所示,工件加工完成后再将辅助工艺凸边切除。

3) 为减少热处理变形的影响,应将热处理工序安排在粗精加工阶段之间进行,使热处理变形在精加工中得以修正。

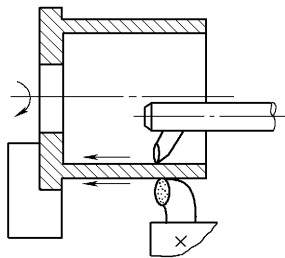


图 4.21 利用薄壁套
工艺凸边夹紧

4.3 箱体类零件加工

4.3.1 概述

1. 箱体类零件的功用和结构特点

箱体类零件是机器及其部件的基础件。它将一些轴、套、轴承和齿轮等零件装配连接成一体,使其保持正确的相互位置关系,按规定的传动关系协调运动。因此,箱体类零件的加工质量对机器的工作精度、使用性能和寿命都有直接的影响。

图 4.22 为几种常见的箱体的结构形式。由图可知,箱体的结构形状一般都比较复杂,壁薄且壁厚不均匀,内部呈腔形;在箱壁上既有许多精度要求较高的轴承支承孔和平面,也有许多精度要求较低的紧固孔。一般来说,箱体不仅需要加工的表面较多,且加工的难度也较大。

2. 箱体类零件的主要技术要求

箱体类零件的技术要求是根据其用途、工作条件等因素制定的,其主要技术要求是对孔和平面的精度和表面粗糙度的要求。箱体轴承支承孔的尺寸精度、形状精度、位置精度与表面粗糙度对轴承的工作质量影响很大,它们直接影响机器的回转精度、传动平稳性、噪声和寿命。支承孔的尺寸精度一般为 IT6、IT7 级,形状精度不超过其孔径尺寸公差的一半,表面粗糙度值为 $Ra\ 1.6 \sim 0.4\ \mu\text{m}$;

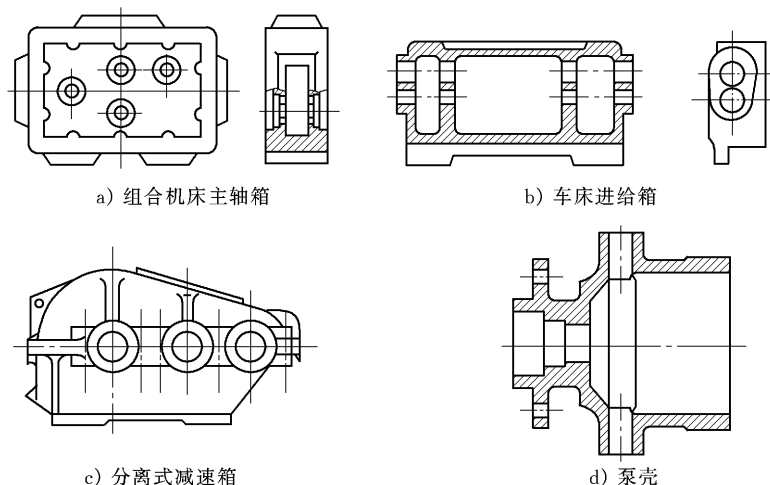


图 4.22 几种箱体的结构简图

同轴线上支承孔的同轴度一般为 $\phi 0.01 \sim 0.03 \text{ mm}$,各支承孔之间的平行度为 $0.03 \sim 0.06 \text{ mm}$,中心距公差一般为 $\pm 0.02 \sim 0.08 \text{ mm}$ 。

箱体装配基面、定位基面的平面精度与表面粗糙度直接影响箱体安装时的位置精度及加工中的定位精度,影响机器的接触精度和有关的使用性能。其平面度一般为 $0.02 \sim 0.1 \text{ mm}$,表面粗糙度值为 $Ra 3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。主要平面间的平行度、垂直度为 $300 : (0.02 \sim 0.1) \text{ mm}$ 。

各支承孔与装配基面间的距离尺寸及相互位置精度(平行度、垂直度)也是影响机器与设备的使用性能和工作精度的重要因素。一般支承孔与装配基面间的平行度为 $0.03 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。

图 4.23 为某车床主轴箱简图,其主要技术要求如图所示。

3. 箱体类零件的材料毛坯

箱体零件的材料常用铸铁,这是因为铸铁容易成形,切削性能好,价格低,且吸振性和耐磨性较好。根据需要可选用 HT150 ~ HT350,常用 HT200。在单件小批生产情况下,为了缩短生产周期,可采用钢板焊接结构。某些大负荷的箱体有时采用铸钢件。在特定条件下,可采用铝镁合金或其他铝合金材料。

铸铁毛坯在单件小批生产时,一般采用木模手工造型,毛坯精度较低,余量大;在大批量生产时,通常采用金属模机器造型,毛坯精度较高,加工余量可适当减小。单件小批生产直径大于 50 mm 的孔,成批生产大于 30 mm 的孔,一般都铸出预孔,以减少加工余量。铝合金箱体常用压铸制造,毛坯精度很高,余量很小。

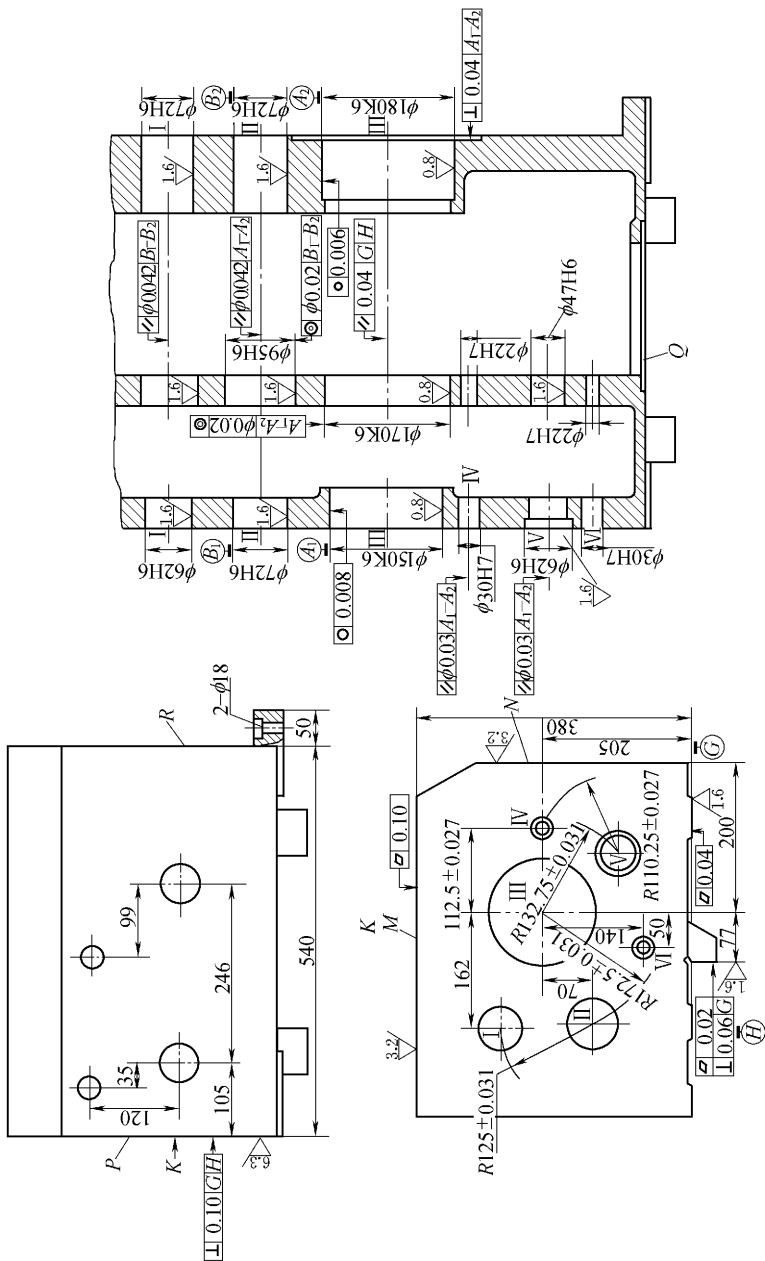


图 4.23 某车床主轴箱简图

4.3.2 箱体类零件的平面加工方法

箱体平面加工常用的方法有刨削、铣削和磨削,在大批量生产中也可采用拉削,此外还有刮研、研磨等光整加工方法。各加工方案所能达到的经济精度和表面粗糙度可参考表 3.7。

1. 刨削

刨削是单件小批生产中平面加工最常用的加工方法,加工精度一般可达 IT10~6 级,表面粗糙度值为 $Ra12.5 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。刨削机床、刀具结构简单,调整方便,通用性好。在龙门刨床上,利用几个刀架可在一次装夹中完成若干表面的加工,能比较经济地保证表面间的相互位置精度。但刨削切削速度较低,有空行程损失,常为单刃加工,故生产率较低。

目前,采用精刨代替刮研的方法较为普遍,能收到良好的效果。采用宽刃精刨时,切削速度较低($2 \sim 12 \text{ m/min}$),加工余量较小(预刨余量 $0.08 \sim 0.12 \text{ mm}$,终刨余量 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$),工件发热变形小,可获得较小的表面粗糙度值($Ra1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$)和较高的加工精度(直线度为 $0.02/1000$),且生产率也较高。图 4.24 为宽刃精刨刀,前角为 $-10^\circ \sim -15^\circ$,有挤光作用;后角为 5° ,可增加后面支承,防止振动;刃倾角为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。加工时用煤油作切削液。

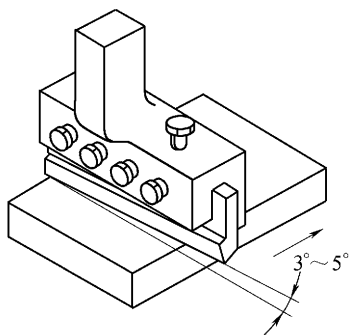


图 4.24 宽刃精刨刀

2. 铣削

铣削是平面加工中最常用的方法。加工精度一般可达 IT10~6 级,表面粗糙度值为 $Ra12.5 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。当加工尺寸较大的平面时,在多轴龙门铣床上,采用多刀铣削,既可保证平面之间的相互位置精度,也可获得较高的生产率。

平面铣削有端铣和周铣两种方法,如图 4.25 所示。端铣同时参加切削的刀齿数较多,切削较平稳,铣刀盘端面上一般装有修光齿,加工精度较高,表面粗糙度值较小;且铣刀刀杆刚性好,用硬质合金刀片可进行高速强力切削,故生产率较高,在生产中端铣加工应用较多。周铣一般采用卧式铣床,其通用性较好,适用范围较广,故在单件小批生产中应用较多。

3. 磨削

平面磨削具有切削速度高,进给量小,尺寸精度易于控制及能获得较小的表面粗糙度值等特点,加工精度一般可达 IT9~5 级,表面粗糙度值 $Ra1.6 \sim 0.2 \mu\text{m}$,因而多用于零件的半精加工和精加工。由于平面磨削时工艺系统刚度较大,可采用强力磨削,不仅能对高硬度材料及淬火表面等进行精加工,而且还

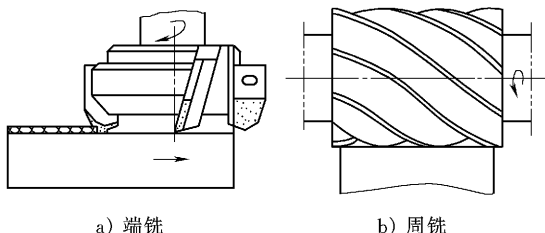


图 4.25 平面铣削方法

能对带硬皮的、余量较均匀的毛坯平面进行粗加工。平面磨削可在电磁工作台上同时安装多个工件,进行连续加工,因此在精加工中小零件,尤其是要求保持一定尺寸和相互位置精度的表面时,不仅加工质量高,而且可获得较高的生产率。

平面磨削的方法有周磨和端磨两种,如图 4.26 所示。周磨时砂轮的工作面为圆周表面。周磨时砂轮与工件的接触面积小,发热小,散热快,排屑与冷却条件好,因此可获得较高的加工精度和表面质量,通常适用于加工精度要求较高的零件。但由于周磨采用间断的横向进给,故生产率较低。端磨时砂轮的工作面为端面。端磨磨头轴伸出长度短,刚性好,弯曲变形小,因而可采用较大的磨削用量。砂轮与工件接触面积较大,同时参加磨削的磨粒多,故生产率较高。但散热和冷却条件差,且砂轮端面沿径向各点圆周速度不等而产生磨损不均,故磨削精度较低。一般适用于大批生产中精度要求不太高的零件表面加工,或 directly 对毛坯进行粗磨。为减少砂轮与工件的接触面积,将砂轮端面修成内锥形,或使磨头倾斜一微小的角度,可改善散热条件,提高加工效率,虽磨出的平面略呈凹形,但由于倾角很小,下凹量极微,如图 4.26b)所示。

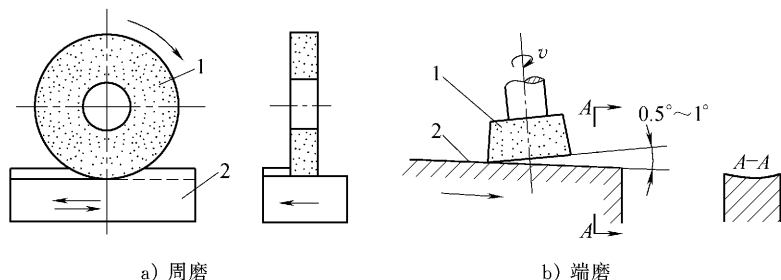


图 4.26 平面磨削方法

1—砂轮 2—工件

4. 刮研

刮研平面用于未淬火的工件,它可使两个平面之间达到很好的接触及紧密

吻合,能获得较高的形状精度和相互位置精度,加工精度一般可达IT5级以上,表面粗糙度值 $Ra1.6\sim0.1\mu\text{m}$ 。且刮研后的平面能形成具有润滑油膜的滑动面,因此可减少相对运动表面间的磨损和增强零件接合面间的刚度。刮研表面质量是用单位面积上接触点的数目来评定的,粗刮为 $1\sim2\text{点}/\text{cm}^2$,半精刮为 $2\sim3\text{点}/\text{cm}^2$,精刮可达 $3\sim4\text{点}/\text{cm}^2$ 。

刮研加工劳动强度大,生产率低,但刮研不需复杂设备,生产准备时间短,且刮研力小,发热小,变形小,加工精度和表面质量高。一般多用于单件小批生产及维修工作。

4.3.3 箱体类零件加工工艺分析

箱体类零件的主要加工表面是轴承支承孔和装配基准平面,这些支承孔有相互位置精度要求,称为孔系。如何保证这些表面的加工精度和表面粗糙度,孔系之间以及孔与装配基准面之间的距离尺寸精度和相互位置精度,是箱体零件加工的主要工艺问题。

1. 车床主轴箱的加工工艺

由图4.23可知,车床主轴箱结构复杂,箱壁薄,加工表面多,主要为平面和孔系。主轴箱是车床的主要部件,是用来安装主轴和传动轴的。它的主要技术要求是为了保证主轴的回转精度、主轴中心线与床身导轨的平行度以及主轴箱部件的正常工作条件。车床主轴箱的主要技术要求有:支承孔、装配基面的尺寸精度、形状精度和表面粗糙度;孔系之间、孔系与装配基面之间的相互位置精度。

表4.4为某车床主轴箱的机械加工工艺过程。材料HT200,中批生产。

表 4.4 主轴箱的加工工艺过程

序号	工 序 内 容	定 位 基 准
10	铸造	
20	时效	
30	清砂,涂底漆	
40	划各孔各面加工线,考虑Ⅱ、Ⅲ孔加工余量并照顾内壁及外形	
50	按线找正、粗刨M面、斜面,精刨M面	
60	按线找正、粗精刨G、H、N面	
70	按线找正、粗精刨P面	
80	粗镗纵向各孔	
90	铣底面Q处开口沉槽	
100	刮研G、H面达 $8\sim10\text{点}/(25\text{mm}^2)$	

续表

序号	工 序 内 容	定 位 基 准
110	半精镗、精镗纵向各孔及 R 面主轴孔法兰面	G 面、 H 面、 P 面
120	钻镗 N 面上横向各孔	G 面、 H 面、 P 面
130	钻 G 、 N 面上各次要孔、螺纹底孔	M 面、 P 面
140	攻螺纹	
150	钻 M 、 P 、 R 面上各螺纹底孔	G 面、 H 面、 P 面
160	攻螺纹	
170	检验	

2. 主轴箱的加工工艺分析

(1) 精基准的选择

箱体上的孔与孔、孔与平面及平面之间都有较高的距离尺寸精度和相互位置精度要求,这些要求的保证与精基准的选择有很大的关系。为此,箱体加工通常优先考虑“基准统一”原则,使具有相互位置精度要求的大部分加工表面的大部分工序,尽可能用同一组基准定位,以避免因基准转换而带来的累积误差,有利于保证箱体各主要表面的相互位置精度。并且,由于多道工序采用同一基准,使夹具有相似的结构形式,可减少夹具设计与制造的工作量,减少生产准备时间,降低生产成本。其次,箱体的设计基准往往也是箱体的装配基准,为保证主要表面间的相互位置精度,也必须考虑“基准重合”原则,使定位基准与设计基准、装配基准重合,避免基准不重合误差,有利于提高箱体各主要表面的相互位置精度。因此,箱体的定位基准常用以下两种方案:

1) 三面定位 箱体加工常用三个相互垂直的平面作定位基准。图 4.23 车床主轴箱 G 面、 H 面和 P 面为孔系和各平面的设计基准, G 面、 H 面又是箱体的装配基准,以它们作为统一的定位基准,使定位基准与设计基准、装配基准重合,有利于保证孔系和各平面间的相互位置精度;同时,三面定位准确可靠,夹具结构简单,工件装卸方便,所以这种定位在单件和中小批生产中应用较广。缺点是三面定位有时会影响定位面上的孔或其他要素的加工。

2) 一面两孔定位 箱体加工常用底面及底面上的两个孔作定位基准,如图 4.23 车床主轴箱可以用底面 G 和 G 面上的两个紧固孔 $2-\phi 18$ 为定位基准,很方便地实现六点定位。底面 G 是设计基准和装配基准,基准重合有利于保证孔系与底面的相互位置精度;且一面两孔定位,可作为大部分工序的定位基准,在一次安装下,可加工除底面外的其他五个面上的孔或平面,实现基准统一;同时,一面两孔定位稳定可靠,夹紧方便,易于实现自动定位和自动夹紧,在成批生产

中,用组合机床与自动线加工箱体时,多采用这种定位方案。其缺点是两孔定位的误差,对相互位置精度的提高有所影响,为此,必须把定位孔的直径精度加工到 IT6、IT7 级以上,并提高两孔中心距离精度和夹具的制造精度。

由以上可知,两种定位方案各有优缺点,选择时应根据实际生产条件合理确定。本例采用三面定位。

应该指出,车床主轴箱箱体中间箱壁上有一些精度要求较高的孔需要加工,必须在箱体内部相应的地方设置镗杆导向支承,以提高镗杆刚度,保证孔的加工精度。因此,根据此工艺上的需要,可在箱体底面开一个矩形窗口,让中间导向支架伸入箱体,而装配时窗口上加密封垫片和盖板,用螺钉紧固。这样,箱体的结构工艺性更好:在箱体铸造时,底部窗口便于铸造型芯的安放,可提高浇注质量;在箱体加工时,箱口朝上,便于安装调整刀具、更换导向套、测量孔径尺寸、观察加工情况和加注切削液等;夹具的结构简单,刚性好,工件装卸也较方便,提高了孔系的加工精度和劳动生产率。这种结构方案已被很多生产厂家所采用。

(2) 粗基准的选择

由于箱体的结构比较复杂,加工表面多,粗基准选择得恰当与否,对加工面与不加工面间的相互位置关系及各加工面的加工余量分配有很大影响,必须全面考虑。通常应满足以下几点要求:①在保证各加工面均有加工余量的前提下,应使重要孔的加工余量均匀;②装入箱体内的旋转零件(如齿轮、轴套等)应与箱体内壁有足够的间隙;③注意保持箱体必要的外形尺寸。此外,还应保证定位夹紧可靠。

为了满足上述要求,一般宜选箱体的重要孔的毛坯面作粗基准。例如车床主轴箱就是以主轴孔Ⅲ和距主轴孔较远的Ⅱ轴孔作为粗基准。由于铸造箱体毛坯时,形成主轴孔、其他支承孔及箱体内壁的型芯是装成一个整体放入的,它们之间有较高的相互位置精度。因此,不仅可以较好地保证主轴孔及其他支承孔的加工余量均匀,有利于各孔的加工,而且还能较好地保证各孔的轴线与箱体不加工的内壁的相互位置,避免装入箱体内的齿轮、轴套等旋转零件在运转时与箱体内壁相碰撞。

根据生产类型的不同,实现以主轴孔为粗基准的工件安装方式也不一样。单件及中小批生产时,由于毛坯制造精度较低,一般采用划线找正法安装工件。例如车床主轴箱,以Ⅲ、Ⅱ孔轴线为基准划线,注意作必要的修正,使各孔、各平面及各加工部位均有加工余量,并以箱体内壁为基准,注意保持旋转件与箱体内壁的间隙,且保持箱体的外形尺寸完整。加工箱体时,按所划的线找正安装工件,则体现了以重要孔作为粗基准。

大批量生产时,毛坯的制造精度较高,可直接以箱体的重要孔在专用夹具上定位,工件安装迅速,生产率高。

(3) 主要表面加工方法的选择

箱体平面的粗加工和半精加工,主要采用铣削和刨削,也可采用车削。当生产批量较大时,可采用各种专用的组合铣床对箱体各平面进行多刀、多面同时铣削;尺寸较大的箱体,也可在多轴龙门铣床上进行组合铣削,如图 4.27a)所示,能有效地提高箱体平面加工的生产率。箱体平面的精加工,单件小批生产时,除了一些高精度的箱体仍需手工刮研外,一般多采用精铣或精刨;当生产批量大而精度又较高时,多采用磨削。为了提高生产效率和平面间的位置精度,可采用专用磨床进行组合磨削,如图 4.27b)所示。

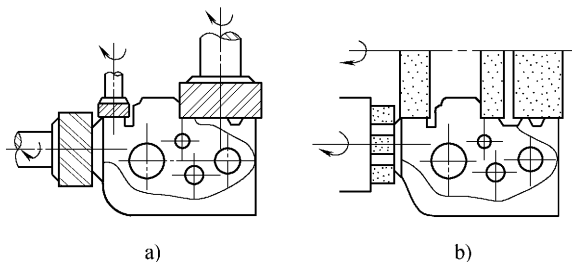


图 4.27 箱体平面的组合铣削与磨削

箱体上公差等级为 IT7 级的轴承支承孔,一般需要经过 3~4 次加工。可采用扩—粗铰—精铰,或采用粗镗—半精镗—精镗的工艺方案进行加工(若未铸出预孔应先钻孔)。以上两种工艺方案,表面粗糙度值可达 $Ra1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。铰的方案用于加工直径较小的孔,镗的方案用于加工直径较大的孔。当孔的加工精度高于 IT7 级,表面粗糙度值 Ra 小于 $0.4 \mu\text{m}$ 时,还应增加一道精密加工工序,常用的方法有精细镗、浮动镗、滚压、珩磨等。

(4) 拟定工艺过程的原则

1) 先面后孔的加工顺序 主轴箱的加工是按先面后孔的顺序进行的,这也是箱体加工的一般规律。因为箱体的孔比平面加工要困难得多,先以孔为粗基准加工平面,再以平面为精基准加工孔,不仅为孔的加工提供了稳定可靠的精基准,同时可使孔的加工余量较为均匀。并且,由于箱体上的孔大都分布在箱体的平面上,先加工平面,切除了铸件表面的凹凸不平 and 夹砂等缺陷,对孔的加工也比较有利,钻孔时可减少钻头引偏,扩孔或铰孔时可防止刀具崩刀;对刀调整也比较方便。如表 4.4 所列,50~70 工序加工平面后,才开始加工孔。

2) 粗精加工分阶段进行 因为箱体的结构形状复杂,主要表面的精度高,粗精加工分开进行,可以消除由粗加工所造成的切削力、夹紧力、切削热以及内应力对加工精度的影响,有利于保证箱体的加工精度;同时还能根据粗、精加工的不同要求来合理地选用设备,有利于提高生产率。如表 4.4 所列,50~90 工

序为粗加工,100 工序起为精加工。

3) 合理安排热处理工序 箱体的结构比较复杂,壁厚不均,铸造时产生了较大的内应力。为了保证其加工后精度的稳定性,在毛坯铸造后安排一次人工时效处理,以改善加工性能,消除内应力。而对于一些高精度的箱体或形状特别复杂的箱体,应在粗加工之后再安排一次人工时效处理,以消除粗加工造成的内应力,进一步提高箱体加工精度和稳定性。箱体人工时效的方法,除加热保温的方法外,也可采用振动时效。

(5) 孔系的加工

箱体上的孔系不仅孔的精度要求高,而且孔距精度和相互位置精度要求也很高,这是箱体加工的关键。生产中最常用的方法是镗模法。如图 4.28 所示,工件装夹在镗模上,镗杆支承在镗模的导套里,由导套引导镗杆在工件的正确位置上镗孔。

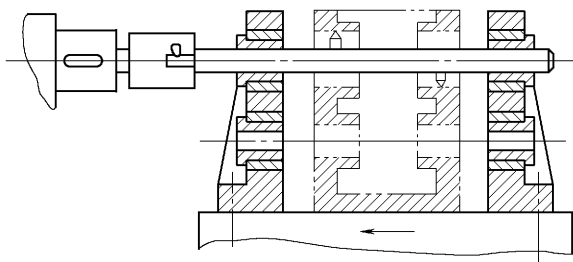


图 4.28 用镗模加工孔系

用镗模镗孔时,镗杆与机床主轴多采用浮动连接,机床精度对孔系加工精度影响很小。孔距精度和相互位置精度主要取决于镗模的精度,因而可以在精度较低的机床上加工出精度较高的孔系;同时镗杆刚度大大提高,有利于采用多刀同时切削;且定位夹紧迅速,生产效率高。另一方面,镗模的精度要求高,制造周期长,成本高。因此,镗模法加工孔系广泛应用于成批及大量生产,即使是单件小批生产,对一些精度要求较高,结构复杂的箱体孔系,往往也采用镗模法加工。

由于镗模本身的制造误差和导套与镗杆的配合间隙对孔系加工精度有影响,因此,用镗模加工孔系不可能达到很高的加工精度。一般孔径尺寸精度为 IT7 级左右,表面粗糙度值 $Ra1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$;孔系间的同轴度和平行度,当从一端加工时,可达 $0.02 \sim 0.03 \text{ mm}$,当从两端加工时,可达 $0.04 \sim 0.05 \text{ mm}$,孔距精度一般为 $\pm 0.05 \text{ mm}$ 。

用镗模法加工孔系,既可在通用机床上加工,也可在专用机床或组合机床上加工。

在中小批量生产时,若孔系精度要求较高,可在数控镗铣床或加工中心上加

工。加工中心不仅生产率高,加工精度高,适用范围广,且不需设计、制造镗模,缩短了产品试制周期,又减少了工序数量,简化了生产管理。我国已有许多工厂在箱体加工中应用加工中心,取得了很好的经济效益。若孔系精度要求不高,可在通用机床上借助一些辅助装置用找正法加工。

4.4 圆柱齿轮加工

4.4.1 概述

1. 圆柱齿轮的结构特点

齿轮是齿轮传动中的主要传动元件,其功用是按一定的速比传递运动和动力。

圆柱齿轮的结构形式随使用要求的不同而异。从工艺角度看,圆柱齿轮是由齿圈和轮体两部分组成。齿圈上可以切制直齿、斜齿或人字齿等齿形,按齿轮轮体的结构特点,可分为盘类齿轮、套类齿轮、轴类齿轮和齿条等,如图 4.29 所示。

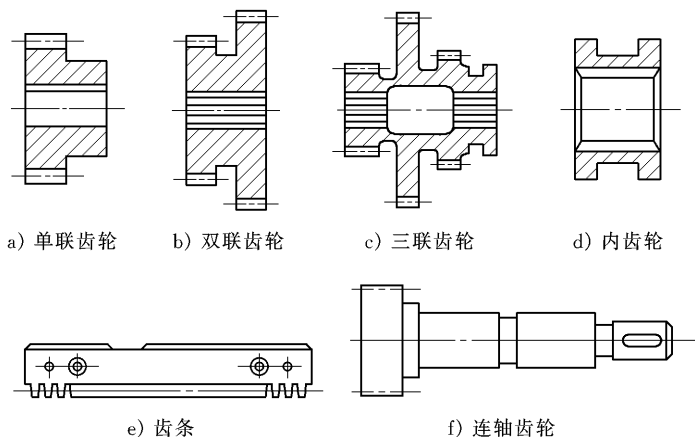


图 4.29 圆柱齿轮的结构形式

单齿圈盘形齿轮的工艺性最好,可以采用任何一种齿形加工方法加工轮齿。多齿圈齿轮的小齿圈的加工受其轮缘间的轴向距离的限制,其齿形加工方法的选择受到局限。如果齿轮精度要求高,需要精滚或磨齿时,可将多齿圈齿轮做成单齿圈齿轮的组合装配结构。

2. 圆柱齿轮的技术要求分析

(1) 圆柱齿轮传动精度要求

齿轮传动质量直接影响到整个机器的工作性能、承载能力和使用寿命。根据齿轮的使用条件,对齿轮传动提出以下要求:

1) 传递运动的准确性 要求齿轮在一转范围内的转角误差不超过规定值,即要求齿轮在一转中传动比的变化小,以保证传递运动准确。

2) 传递运动的平稳性 要求齿轮在一齿范围内的转角误差应在规定范围内,以保证齿轮传动的瞬时传动比的变化小,以减少振动、冲击和噪声。

3) 载荷分布的均匀性 指齿轮在传递过程中,要求齿轮工作齿面接触良好,以保证载荷分布均匀,以免产生应力集中和齿面过早磨损,而降低齿轮的使用寿命。

4) 传动侧隙的合理性 要求啮合齿轮的非工作齿面间应有一定的齿侧间隙,用于贮存润滑油,补偿齿轮的制造与安装误差以及弹性变形和热变形,以免在齿轮工作时出现卡死和烧伤现象。

国家标准 GB 10095—88《渐开线圆柱齿轮精度》对齿轮及齿轮副规定了 12 个精度等级。1、2 级为有待于发展的精度级,3~5 级属于高精度级,6~8 级属于中等精度级,9~12 级为低精度级。标准将齿轮每个精度等级的各项公差与极限偏差分为三个公差组,如表 4.5 所示。

表 4.5 齿轮公差组

公差组	公差或极限偏差	对传动性能的主要影响
I	$F'_i, F''_i, F_p, F_{pk}, F_r, F_w$	传递运动的准确性
II	$f'_i, f''_i, f_f, f_{pt}, f_{pb}, f_{fb}$	传动的平稳性、噪声、振动
III	F_b, F_b, F_{px}	载荷分布的均匀性

注: F'_i ——切向综合误差, F''_i ——径向综合误差, F_p ——齿距累积误差, F_{pk} —— k 个齿距累积误差, F_r ——齿圈径向跳动公差, F_w ——公法线长度变动公差, f'_i ——齿切向综合误差, f''_i ——齿径向综合误差, f_f ——齿形公差, f_{pt} ——齿距极限偏差, f_{pb} ——基圆齿距极限偏差, f_{fb} ——螺旋线波度公差, F_b ——齿向公差, F_b ——接触线公差, F_{px} ——轴向齿距的法向极限偏差。

对齿轮副侧隙的要求,标准以齿厚偏差为主要参数,规定了 14 种字母代号,用 C、D、E、F、G、H、J、K、L、M、N、P、R、S 表示,齿厚的上、下偏差分别用两种字母表示。

(2) 圆柱齿轮的齿坯精度要求

齿轮的内孔(或轴颈)、端面(有时还有顶圆)常被用作齿轮加工定位、测量及装配的基准,所以齿坯加工精度对齿轮加工和传动的精度均有很大的影响。

齿坯主要技术要求包括基准孔(或轴)的直径公差和基准端面的端面跳动。标准规定了对应于不同精度等级的齿坯公差等级和公差值。

3. 齿轮的材料、毛坯及热处理

(1) 齿轮的材料及热处理

齿轮的材料按照使用时的工作条件进行选择。一般中等精度齿轮,可选用中碳钢(如45钢)、中碳合金钢(如40Cr)进行调质或表面淬火处理。低速重载、有冲击载荷的齿轮,齿面受压产生塑性变形或磨损,且轮齿易折断,应选用低碳合金钢(如20CrMnTi)进行渗碳淬火或液体碳氮共渗,其齿面硬度可达58 HRC,且芯部具有良好的韧性。非传力齿轮可以用不淬火的钢、铸铁、工程塑料等材料。

(2) 齿轮的毛坯

齿轮的毛坯取决于齿轮的材料、结构形式与尺寸、使用条件及生产批量等因素。常用的齿轮毛坯有棒料、锻件和铸件等。棒料用于小尺寸、结构简单且对强度要求低的齿轮。锻件用于要求强度高、耐磨、耐冲击的齿轮,生产批量较小或尺寸较大的齿轮采用自由锻,生产批量大的中小齿轮可采用模锻。铸钢件用于结构复杂、尺寸大的齿轮,铸铁件用于受力小、无冲击的开式传动齿轮。铸件一般可直接铸出轮齿。

4.4.2 齿轮零件的齿形加工

按齿面形成的原理不同,齿面加工可以分为两类方法:一是成形法,用与被切齿轮齿槽形状相符的成形刀具切出齿面,如铣齿、拉齿和成形磨齿等;二是展成法,齿轮刀具与工件按齿轮副的啮合关系做展成运动,工件齿面由刀具的切削刃包络而成,如滚齿、插齿、剃齿、珩齿和磨齿等,加工精度和生产率都较高,应用十分广泛。

1. 铣齿

铣齿是指用齿形铣刀在铣床上加工齿面的方法。模数 $m \leq 8$ mm 的齿轮,一般用盘状齿形铣刀在卧式铣床上加工; $m > 8$ mm 的齿轮,用指状齿形铣刀在立式铣床上加工,铣出一个齿槽后,由分度盘分度,铣下一齿槽。铣齿精度较低,仅能达到 IT9 级,表面粗糙度值为 $Ra6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$,且生产率低。但铣齿不需专用的齿轮加工设备,而且齿轮铣刀结构简单,价格便宜,如图 1.51 所示。故铣齿一般用在单件或修配生产中低精度齿轮的制造。

2. 滚齿

滚齿加工是根据展成法原理来加工齿形的。滚刀加工齿轮,相当于齿轮齿条的啮合过程,如图 4.30 所示,齿轮滚刀是一个经过开槽和铲齿的蜗杆,具有切削刃和后角,其轴向剖面近似齿条,滚刀旋转时,就相当于齿条在连续地移动,被切齿轮的分度圆沿齿条节线作无滑动的纯滚动,滚刀切削刃的包络线就形成渐开线齿形。

滚齿的通用性好。用一把滚刀可加工模数和压力角相同的直齿轮和任意螺旋角的斜齿轮,滚齿还可加工蜗轮。滚齿的加工精度为 7~8 级。精密滚齿可达

到6级。齿面粗糙度值为 $Ra3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。滚齿的生产率较高,应用较广。

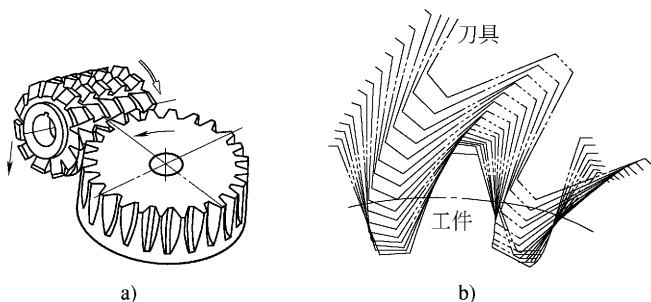


图 4.30 滚齿原理

滚齿加工中,由于机床、刀具、夹具和齿坯的误差,使被加工齿轮也会产生误差,影响齿轮的传动精度。影响齿轮传递运动准确性的主要原因是在加工中滚刀和被加工齿轮的相对位置和相对运动发生了变化。夹具、齿坯的误差使被加工齿轮偏心,产生齿轮的径向误差;机床传动链的误差使展成运动不准确,产生齿轮的切向误差。影响齿轮传递运动平稳性的主要原因是滚刀的制造、安装误差,产生齿轮的齿形误差。影响齿轮承受载荷均匀性的主要原因是夹具、机床导轨的误差,使滚刀进给方向与工件中心不平行,产生齿轮的齿向误差。

一般滚齿的齿轮传递运动准确性较高(切向误差较小),传递运动平稳性较差(齿形误差较大),承受载荷均匀性较好(齿向误差较小)。

采用滚刀新材料,对提高齿轮加工的精度和生产率有重大意义。用硬质合金滚刀可对硬齿面齿轮进行半精滚或精滚,精度可达7级,生产率比磨齿约高5~6倍。

3. 插齿

插齿加工原理相当于一对圆柱齿轮相啮合,一个齿轮磨出前后角以形成切削刃即为插齿刀,如图4.31所示,通过严格的啮合运动,其包络线形成齿形。

插齿应用很广,可加工圆柱直齿轮、多联齿轮、内齿轮、扇形齿轮和齿条等。其加工精度可达7~8级,齿面粗糙度值可达 $Ra1.6 \mu\text{m}$ 。由于插齿为往复运动,有空行程,且插齿系统刚度较差,故一般插齿的生产率较滚齿低。只有对模数较小,齿圈较薄的齿轮,其生产率不低于滚齿,因此插齿多用于中小模数齿轮的加工。

插齿的运动较多,传动链复杂,故插齿的切向误差大,传递运动准确性比滚齿低;插齿刀的制造、刃磨均比齿轮滚刀方便,齿形精确,故插齿的齿形误差小,传递运动平稳性比滚齿高;插齿时往复运动频繁,导轨易磨损,且刀具刚性差,故插齿的齿向误差大,承受载荷均匀性比滚齿差;插齿时轮齿被刀刃切削的次数较

多,即包络线数多,故插齿齿面粗糙度值 Ra 较小。

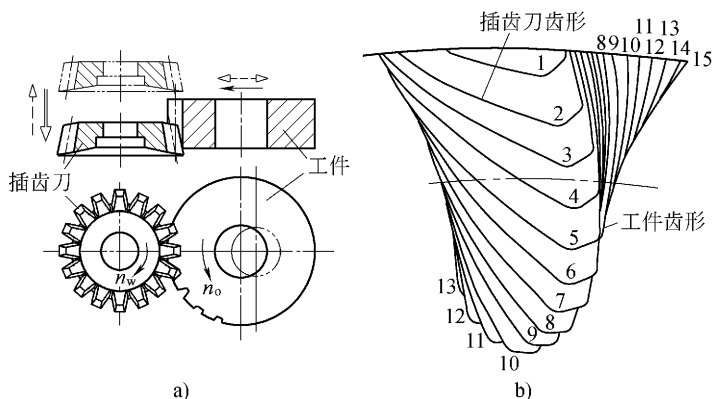


图 4.31 插齿原理及成形运动

使用硬质合金插齿刀可精加工淬硬齿轮,精度可达 6~7 级,表面粗糙度值为 $Ra0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$,其工艺过程简单,成本低。

4. 剃齿

剃齿刀实质上是一个高精度的斜齿圆柱齿轮,并在每个齿面上沿渐开线方向开出许多小沟槽,形成切削刃,如图 4.32 所示。剃齿时剃齿刀 1 与工件 2 在空间成交错啮合,剃齿刀高速正反转,带动工件作双面无侧隙的自由对滚,使两啮合面产生相对滑移,刀刃在一定压力下从工件齿面上剃下很薄的切屑,如图 4.33 所示。剃齿主要用于未经过淬火的直齿和斜齿圆柱齿轮的精加工,精度可达 6~7 级,齿面粗糙度值 Ra 可达 $0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。

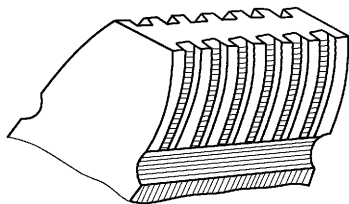


图 4.32 剃齿刀刀齿

剃齿时刀具与工件之间没有强制性的展成运动,不能保证分齿均匀,因此剃齿对齿轮传递运动准确性提高不多或无法提高,对传动平稳性和承载均匀性都有较大提高,且齿面粗糙度值较小。因此剃齿前齿形的加工,以滚齿为好。剃齿生产率很高,机床结构简单,操作方便,刀具耐用度高,但刀具价格昂贵,修磨不便。故多用于成批大量生产中未淬硬齿轮的精加工。

近年来,由于含钴、钼成分较高的高性能高速钢刀具的应用,使剃齿也能进行硬齿面($45 \sim 55\text{HRC}$)的齿轮精加工,加工精度可达7级,齿面粗糙度值 $Ra\ 1.6 \sim 0.8\ \mu\text{m}$ 。

5. 珩齿

珩齿原理与剃齿相似,珩磨轮和工件在空间作交错齿轮副无侧隙啮合传动。珩磨轮是由磨料(金刚砂或白刚玉)与环氧树脂等材料混合后,浇铸或热压而成的斜齿轮,如图4.34所示。

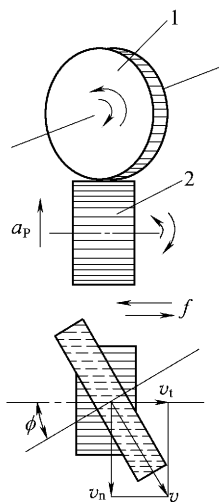


图 4.33 剃齿工作原理

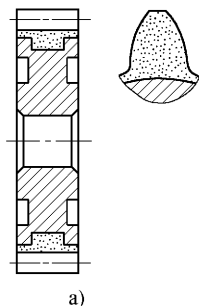


图 4.34 珩齿原理

当珩磨轮高速带动被珩齿轮正反转时,在相啮合齿轮的齿面上产生相对滑动,磨粒在进给压力下进行切削,为一低速磨削、研磨和抛光等的综合过程。

珩齿加工对齿轮传递运动的平稳性误差的修正能力较强,对传递运动的准确性误差修正能力较差,对承受载荷的均匀性误差有一定的修正能力,表面粗糙度值可达 $Ra\ 0.8 \sim 0.2\ \mu\text{m}$,且齿面不会产生烧伤,表面质量好。

珩齿设备简单,珩轮成本低,珩齿生产率高,故多用于成批大量生产中淬火后齿形的精加工,加工精度可达6~7级。

6. 磨齿

磨齿是高精度齿面的加工方法,加工精度可达4~6级,最高3级,齿面粗糙度值为 $Ra\ 0.8 \sim 0.2\ \mu\text{m}$,可磨削淬硬的齿面。但加工成本高,生产率低。多用作齿面淬硬后的光整加工。

磨齿有展成法和成形法两种,在生产中常用展成法,它根据齿轮齿条的啮合原理来进行加工。按砂轮形状不同,分为以下几种:

续表

序号	工 序 内 容	定 位 基 准
50	精车外圆、端面及槽至图样要求	花键孔和 A 面
60	检验	
70	滚齿($z=42$)留剃量 0.07 ~ 0.10 mm	
80	插齿($z=28$)留剃量 0.03 ~ 0.05 mm	花键孔和 A 面
90	倒角(I、II 齿圈 12° 牙角)	花键孔和端面
100	钳工去毛刺	
110	剃齿($z=42$)公法线长度至尺寸上限	花键孔和 A 面
120	剃齿($z=28$)采用螺旋角 5° 的剃齿刀, 公法线长度至尺寸上限	花键孔和 A 面
130	齿部高频感应加热淬火 G52	
140	推孔	花键孔和 A 面
150	珩齿(I、II)至尺寸要求	花键孔和 A 面
160	检验	

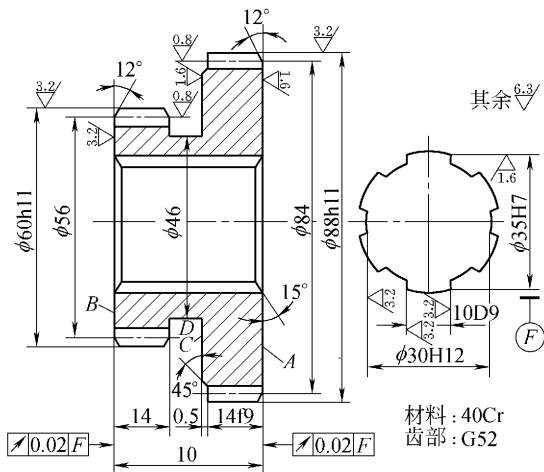


图 4.36 双联齿轮零件简图

齿轮号		I	II
模数	m	2	2
齿数	z	28	42
精度等级		7GK	7JL
齿圈径向圆跳动	F_r	0.036	0.036

续表

齿轮号		I	II
公法线长度变动	F_w	0.028	0.028
基节极限偏差	F_{pb}	± 0.013	± 0.013
齿形公差	f_f	0.011	0.011
齿向公差	F_β	0.011	0.011
跨齿数		4	5
公法线平均长度		$21.36_{-0.05}^0$	$27.61_{-0.05}^0$

2. 圆柱齿轮加工工艺过程分析

(1) 定位基准的选择

齿轮的加工精度要求较高,加工较为复杂,因此为保证加工质量,应尽量按基准重合原则选择齿轮的定位基准,并且尽可能在整个加工工艺过程中保持基准统一。

盘类齿轮的齿形加工,一般选择内孔和一个端面作为定位基准,符合“基准重合”原则。采用专用心轴,定位精度较高,广泛应用于成批生产中。为保证基准端面相对内孔的端面的圆跳动,应尽量在一次安装中同时加工内孔和基准端面。当生产批量较小,不采用专用心轴以内孔定位时,也可选择外圆作为定位基准,找正装夹,此时外圆相对内孔的径向圆跳动要有严格的要求。

轴类齿轮的齿形加工一般选择两顶尖孔定位,某些大模数的轴类齿轮多选择轴径和一端面定位。

(2) 齿坯加工

由于齿坯的内孔、端面、外圆常作为齿形加工与测量及齿轮装配时的基准,所以齿坯的加工精度对整个齿轮的加工精度有重要的影响。

齿坯加工工艺主要取决于齿轮的轮体结构、技术要求和生产类型。轴类齿轮、套类齿轮的齿坯加工工艺与一般轴、套类零件基本相同,以下主要讨论盘类齿轮的齿坯加工:

1) 大批量生产的齿坯加工 大批量生产,应采用高生产率的机床和高效专用夹具,采用“多刀车—拉—多刀车”的加工方案:①在多刀半自动车床上粗车外圆、端面和内孔;②以内孔定位,端面支承,拉花键孔或圆柱孔;③以内孔在精密心轴或可胀心轴上定位,在多刀半自动车床上精车外圆、端面等。

2) 中小批生产的齿坯加工 中小批生产尽量采用通用机床加工。对于圆柱孔齿坯,常采用“粗车—精车”的加工方案:①在卧式车床上粗车齿坯各部分;②在一次安装中精车内孔和基准端面,以保证基准端面对内孔的圆跳动要求;

③ 以内孔在心轴上定位精车外圆及端面等。

对于花键孔齿坯,采用“粗车—拉—精车”的加工方案:① 在卧式车床上粗车齿坯外圆、端面和花键底孔;② 以花键底孔定位,端面支承,拉花键孔;③ 以花键孔在心轴上定位,精车外圆、端面等。

(3) 齿形加工方案选择

齿形加工方案的选择主要取决于齿轮的精度等级、生产批量和齿轮的热处理方法等。

对于8级精度以下的调质齿轮,用滚齿或插齿就能满足要求。对于淬硬齿轮,可采用“滚(插)齿—齿端加工—热处理—修正内孔”的加工方案。热处理前的齿形加工精度应比图纸技术要求提高一级。

对于6~7级精度的齿轮,一般有两种加工方案:① 剃—珩方案:滚(插)齿—齿端加工—剃齿—表面淬火—修正基准—珩齿。这种加工方案生产率高,设备简单,成本低,广泛用于成批或大批大量生产中。② 磨齿方案:滚(插)齿—齿端加工—渗碳淬火—修正基准—磨齿。这种加工方案生产率低,适用于单件小批生产或淬火后变形较大的齿轮。

随着刀具材料的不断发展,用硬滚、硬插、硬剃代替磨齿,用珩齿代替磨齿,可取得很好的经济效益,例如可用“滚齿—齿端加工—齿面热处理—修正基准—硬滚”的方案。

5级精度以上齿轮的齿形加工均采用磨齿方案。

(4) 齿端加工

齿轮的齿端加工有倒圆、倒尖、倒棱和去毛刺等,如图4.37所示。齿端倒圆或倒尖后,沿轴上滑动时易于进入啮合;倒棱可以去除齿端的锐边,这些锐边经渗碳淬火后会很脆,齿轮传动时易崩裂。



图4.37 齿端的形状

齿端加工以倒圆应用最广,如图4.38所示为用指状铣刀进行齿端倒圆。指状铣刀在高速旋转的同时沿圆弧作往复摆动。加工一个齿端后,退出、分度,再加工下一个齿端。

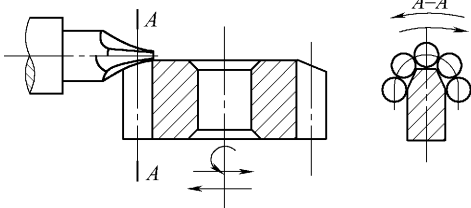


图 4.38 齿端倒圆

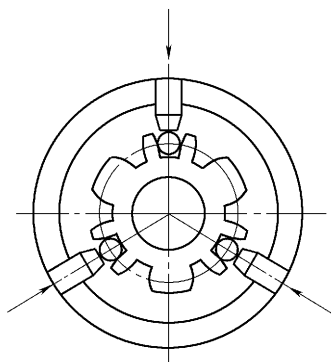


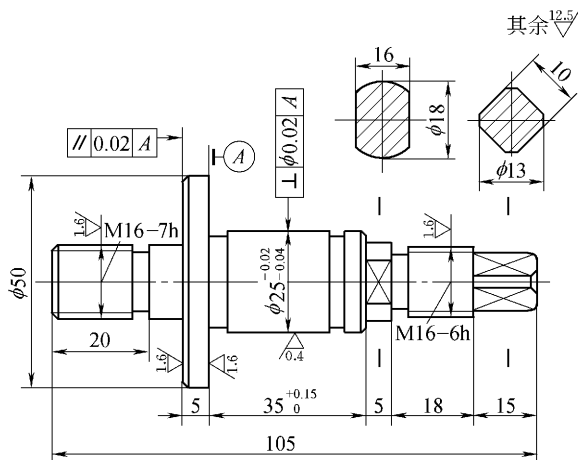
图 4.39 齿圈分度圆定心示意图

(5) 精基准的修正

齿轮淬火后基准孔常会发生变形,为了保证齿轮精加工质量,在齿形精加工前必须先对基准孔进行修正。以大径定心的花键孔,通常用花键推刀修正。圆柱形内孔可采用推孔或磨孔。推孔生产率高,用于孔未淬硬的齿轮;磨孔生产率较低,但加工精度高,特别适用于整体淬火的齿轮,或孔径较大齿厚较薄的齿轮。磨孔时应以分度圆定位,如图 4.39 所示,这样磨孔后的齿轮齿圈径向跳动量较小,有利于后续磨齿或珩齿加工精度的保证。

思考题与习题

- 4.1 轴类零件有何功用?其结构特点是什么?
- 4.2 轴类零件常选什么材料?在加工的各个阶段应安排哪些热处理工序?
- 4.3 细长轴车削有何特点?细长轴车削应采取哪些工艺措施?
- 4.4 无心磨削的特点是什么?
- 4.5 高精度磨削、超精加工、研磨、滚压各有什么特点?
- 4.6 试分析主轴加工工艺过程中如何体现基准重合、基准统一、互为基准的原则?
- 4.7 如何安排主轴机械加工的顺序?
- 4.8 编制题 4.8 图所示挂轮架轴的机械加工工艺过程。零件材料 45 钢,小批生产。技术要求 $\phi 25_{-0.04}^{-0.02}$ 和方头处淬火 40~45 HRC,未注倒角 $1 \times 45^\circ$ 。
- 4.9 套类零件有何功用?其结构特点是什么?主要技术要求有哪些?
- 4.10 内孔的一般加工方法有哪些?各有什么特点?
- 4.11 深孔加工有何特点?深孔加工时应采取哪些工艺措施?
- 4.12 内孔的精密加工方法有哪些?各有什么特点?
- 4.13 保证套筒类零件的相互位置精度有哪些方法?



题 4.8 图 挂轮架轴

4.14 防止薄壁套筒零件变形的工艺措施有哪些？

4.15 编制题 4.15 图所示轴套的机械加工工艺过程。零件材料 45 钢，小批生产。技术要求 淬火 45~50HRC，未注倒角 $1 \times 45^\circ$ 。

4.16 箱体零件的结构特点及主要技术要求有哪些？它们对保证箱体的作用和机器的性能有何影响？

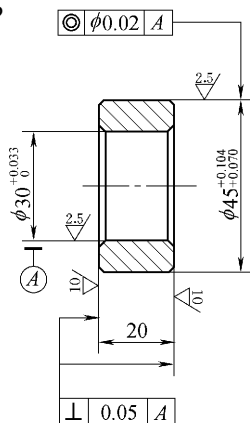
4.17 平面加工有哪些方法？举例说明各加工方法的特点和适用范围。

4.18 箱体加工的精基准有几种方案？比较它们的优缺点和适用场合。

4.19 箱体加工的粗基准选择时主要应考虑什么问题？生产批量不同时工件如何安装？

4.20 安排箱体加工顺序时，一般应遵循哪些主要原则？

4.21 箱体孔系的加工方法有哪些？适用于什么场合？



题 4.15 图 轴套

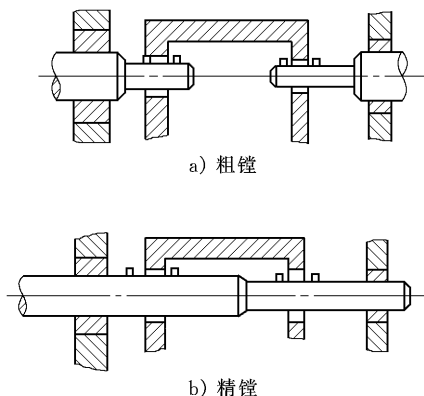
4.22 某厂加工箱体孔系的粗、精镗加工工序如题 4.22 图所示，试分析这两道工序的特点。

4.23 对齿轮传动精度有哪些技术要求？

4.24 齿轮常用什么材料制造？使用什么热处理方法？

4.25 比较滚齿与插齿的工艺特点及适用范围。

4.26 试比较滚齿、插齿和剃齿的加工质量。



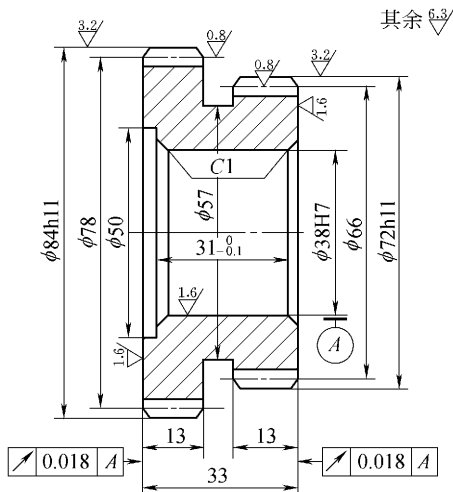
题 4.22 图 箱体孔系的粗、精镗加工示意图

4.27 齿轮加工如何选择定位基准？

4.28 在不同的生产条件下,齿坯加工方案应如何选择？

4.29 齿轮的典型加工工艺过程有几个阶段？齿形加工方案主要取决于哪些因素？

4.30 试编制如题 4.30 图所示双联齿轮单件小批生产的机械加工工艺过程。材料 45 钢,齿部高频淬火 48HRC,精度等级 766HL。



题 4.30 图 双联齿轮

第 5 章

机械制造质量分析与控制

5.1 加工质量

5.1.1 加工精度

1. 加工精度与加工误差

加工精度是指零件经机械加工后,其几何参数(尺寸、形状、表面相互位置)的实际值与理想值的符合程度。符合程度愈高,加工精度也愈高。实际值与理想值之差,称为加工误差。加工误差愈小,加工精度愈高。生产中所谓保证和提高加工精度,就是指控制和减少加工误差。研究加工精度,就是通过分析各种因素对加工精度影响的规律,从而找出减少加工误差的工艺措施,把加工误差控制在公差范围之内。

零件的加工精度包括三方面:尺寸精度、形状精度和相互位置精度,三者之间是有联系的。形状误差应限制在位置公差内,位置误差应限制在尺寸公差内,一般尺寸精度高,其相应的形状和相互位置精度也高。对于某些配合要求高或有特殊功用的零件,其几何形状和相互位置精度也往往有更高的要求。

2. 获得加工精度的方法

(1) 获得尺寸精度的方法

1) 试切法 就是通过试切、测量、调整、再试切,反复进行直到被加工尺寸达到要求为止的加工方法。这种方法的效率低,操作者的技术水平要求高,主要适用于单件、小批生产。

2) 调整法 先调整好刀具和工件在机床上的相对位置,并在一批零件的加工过程中保持这个位置不变,以保证被加工尺寸的方法。调整法广泛用于各类半自动、自动机床和自动线上,适用于成批、大量生产。

3) 定尺寸刀具法 用刀具的相应尺寸来保证工件被加工部位尺寸的方法,如钻孔、拉孔和攻螺纹等。这种方法的加工精度,主要取决于刀具的制造、刃磨质量和切削用量。其优点是生产率较高,但刀具制造较复杂,常用于孔、螺纹和成形表面的加工。

4) 自动控制法 这种方法是用测量装置、进给机构和控制系统构成加工过程的自动循环,即自动完成加工中的切削、测量、补偿调整等一系列的工作,当工件达到要求的尺寸时,机床自动退刀停止加工。

(2) 获得形状精度的方法

1) 成形刀具法 就是采用成形刀具加工工件的成形表面以达到所要求的形状精度。成形刀具法的加工精度主要取决于刀刃的形状精度。

2) 轨迹法 是依靠刀具与工件的相对运动轨迹来获得工件形状的。轨迹法的加工精度与机床的精度关系密切。例如,车削圆柱类零件时,其圆度、圆柱度等形状精度,主要决定于主轴的回转精度、导轨精度以及主轴回转轴线与导轨之间的相互位置精度。

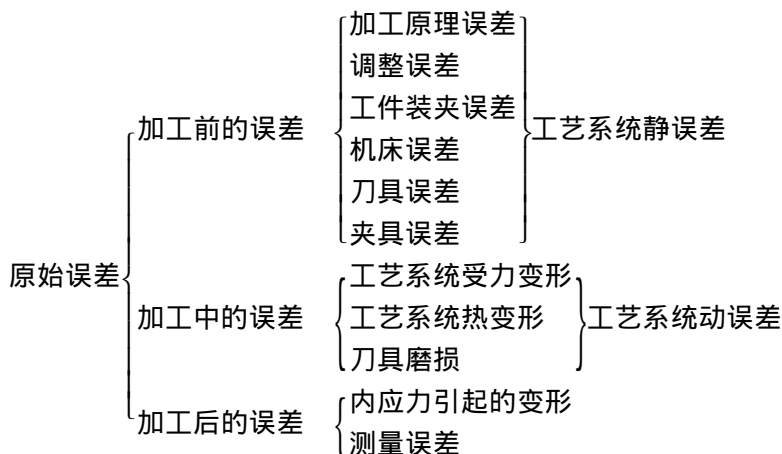
3) 展成法 是利用刀具与工件作展成切削运动,其包络线形成工件形状。展成法常用于各种齿形加工,其形状精度与刀具精度以及机床传动精度有关。

(3) 获得相互位置精度的方法

零件的相互位置精度的获得,有以下三种方法:直接找正法、划线找正法和夹具定位法(见1.3.2节)。其精度主要由机床精度、夹具精度和工件的装夹精度来保证。

3. 影响加工精度的因素(原始误差)

机械加工中,由机床、夹具、刀具和工件等组成的统一体,称为工艺系统。工艺系统中凡是能直接引起加工误差的因素都称为原始误差。由于原始误差的存在,使工件和刀具之间正确的位置关系或运动关系遭到破坏而产生加工误差。这些原始误差,一部分与工艺系统的初始状态有关,称为工艺系统的几何(静)误差。在加工过程中产生的原始误差,称为工艺系统的动误差。原始误差归纳如下:



4. 研究加工精度的方法

研究加工精度的方法有两种:一是通过分析计算或实验、测试等方法,研究某一确定因素对加工精度的影响。一般不考虑其他因素的同时作用,主要分析该因素与加工误差间单独的关系。二是统计分析法,运用数理统计方法对生产中一批工件的实测结果进行数据处理,用以控制工艺过程的正常进行。主要研究各项误差综合的变化规律,一般只适用于大批量生产。

在实际生产中,这两种方法常常结合起来应用,一般先用统计分析法寻找误差的出现规律,初步判断产生加工误差的可能原因,然后运用单因素分析法进行分析、试验,以便迅速有效地找出影响加工精度的主要原因。

5.1.2 表面质量

1. 加工表面质量的概念

加工表面质量是指零件加工后表面层的状态。表面质量可从几何与物理两方面进行评定。

(1) 表面层的几何形状误差

1) 表面粗糙度 是指加工表面的微观几何形状误差,其波长与波高比值一般小于 50,如图 5.1 所示,是由加工中的残留面积、塑性变形、积屑瘤、鳞刺以及工艺系统的高频振动等造成的。

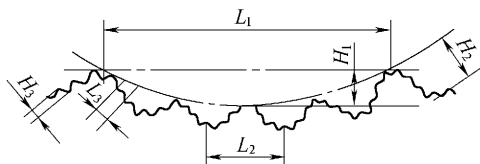


图 5.1 表面粗糙度和波度

2) 波度 是介于宏观与微观几何形状误差之间的周期性几何形状误差。其波长与波高的比值等于 50 ~ 1 000。主要是由加工中工艺系统的低频振动引起的。

(2) 表面层的物理力学性能

1) 表面层金属的冷作硬化 是指零件在机械加工中表面层金属产生强烈的冷态塑性变形后,引起强度和硬度都有所提高的现象。

2) 表面层金属金相组织的变化 是指在机械加工过程中,由于切削热的作用引起表面层金属的金相组织发生变化的现象。

3) 表面层金属的残余应力 是指由于加工过程中切削力和切削热的综合作用,使表层金属产生残余应力的现象。

2. 表面质量对机器零件使用性能的影响

(1) 表面质量对耐磨性的影响

1) 表面粗糙度 由于零件表面存在微观不平度,当两个零件表面相互接触时,实际有效接触面积很小,表面越粗糙,有效接触面积就越小。在两个零件做相对运动时,开始阶段由于接触面小,压强大,零件表面在初期磨损阶段的磨损速度很快,起始磨损量较大,如图 5.2 所示。随着磨损的发展,有效接触面积不断增大,压强也逐渐减小,磨损将以较慢的速度进行,进入正常磨损阶段。在这之后,由于有效接触面积越来越大,零件间的金属分子亲和力增加,表面的机械咬合作用增大,使零件表面又产生急剧磨损而进入快速磨损阶段,此时零件将不能使用。表面粗糙度对零件表面磨损的影响很大。一般说来,表面粗糙度值越小,其耐磨性越好。但是表面粗糙度值太小,润滑油不易储存,致使接触面形成半干或干摩擦,甚至接触面发生分子粘合,磨损反而加剧。因此,就磨损而言,存在一个最优表面粗糙度值。图 5.3 给出了不同载荷条件下表面粗糙度值与磨损量的关系曲线。

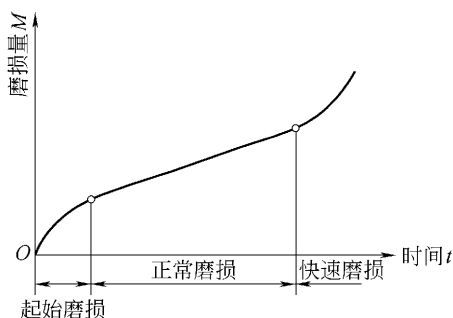


图 5.2 零件表面的磨损曲线

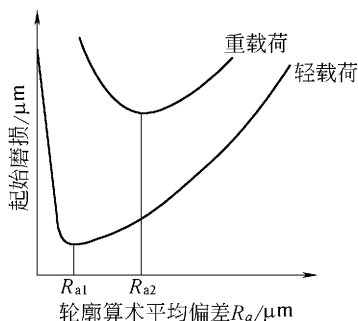


图 5.3 表面粗糙度与磨损量的关系

2) 冷作硬化 零件加工表面层的冷作硬化减少了摩擦副接触表面的弹性和塑性变形,从而提高了耐磨性。但当表面过度硬化时,将引起表面层金属组织的过度“疏松”,甚至产生微观裂纹和剥落,反而降低了耐磨性。图 5.4 为表面冷作硬化与磨损量的关系。

(2) 表面质量对耐疲劳性的影响

1) 表面粗糙度 表面粗糙度对承受交变载荷零件的疲劳强度影响很大。在交变载荷作用下,表面粗糙度的凹谷部位、划痕和裂纹容易引起应力集中,产生疲劳裂纹。表面粗糙度值越小,表面缺陷

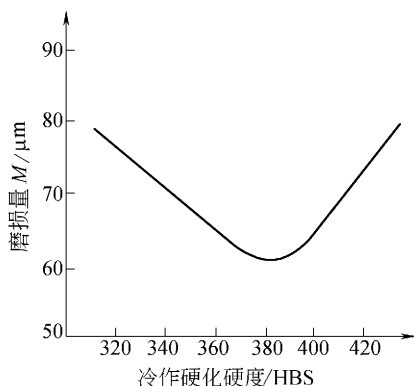


图 5.4 冷硬程度与磨损量的关系

越少,零件的耐疲劳性越好。

2) 表面层物理力学性能 表面层金属的冷作硬化能够阻止已有裂纹的扩大和新的裂纹的产生,可提高零件的耐疲劳强度。加工表面层的残余应力对疲劳强度的影响很大,残余压应力可部分抵消交变载荷施加的拉应力,阻碍和延缓疲劳裂纹的产生或扩大,从而可以提高零件的耐疲劳强度,但残余拉应力容易使零件在交变载荷下产生裂纹,使耐疲劳强度降低。

(3) 表面质量对耐腐蚀性的影响

1) 表面粗糙度 零件表面粗糙度值越大,潮湿空气和腐蚀介质越容易沉积于表面凹坑中而发生化学腐蚀,耐腐蚀性能就越差。

2) 表面层物理力学性能 当零件表面层有残余压应力时,能够阻止表面裂纹的进一步扩大,有利于提高零件表面抵抗腐蚀的能力。

(4) 表面质量对零件配合质量的影响

对于间隙配合,表面粗糙度值越大,磨损越大,使配合间隙很快增大,从而改变原有的配合性质,降低配合精度。对于过盈配合,表面粗糙度值越大,两表面相配合时表面凸峰易被挤掉,会使实际过盈量减少,降低了连接强度。因此配合精度要求较高的表面,应具有较小的表面粗糙度值。

5.2 机械加工工艺系统几何误差的影响分析

机械加工工艺系统的几何误差包括机床、夹具、刀具的误差,是由制造误差、安装误差以及使用中的磨损引起的。下面主要讨论机床主轴回转误差、导轨误差、传动链误差和夹具误差等。

5.2.1 机床主轴的回转运动误差

1. 主轴回转运动误差的概念与形式

机床主轴是安装工件或刀具的基准,并传递切削运动和动力。对主轴的精度要求最主要的就是回转精度,即要求主轴回转时保证轴线的位置稳定不变。主轴的回转运动误差,直接影响被加工工件的几何形状精度、位置精度和表面粗糙度。

主轴的回转运动误差,是指主轴的实际回转轴线对其理想回转轴线(各瞬时回转轴线的平均位置)的变动量。

主轴的回转运动误差可分解为径向圆跳动、端面圆跳动、角度摆动三种基本形式(图 5.5)。

端面圆跳动——实际回转轴线始终沿理想轴线的方向作轴向运动,如图 5.5a)所示。它主要影响被加工工件的形状精度、位置精度和轴向尺寸精度。

径向圆跳动——实际回转轴线始终平行于理想轴线的方向作径向运动,如图 5.5b) 所示。它影响被加工工件圆柱面的形状精度。

角度摆动——实际回转轴线始终与理想轴线倾斜一个角度作摆动,但其交点位置固定不变,如图 5.5c) 所示。它影响被加工工件圆柱面与端面的加工精度。

主轴回转运动误差实际上是上述三种运动的合成,因此主轴不同横截面上轴心线的运动轨迹既不相同,也不相似,造成主轴的实际回转轴线对其理想回转轴线的“漂移”。

2. 主轴回转运动误差的影响因素

影响主轴回转运动误差的主要因素有主轴支承轴颈的误差、轴承的误差、轴承的间隙、箱体支承孔的误差、与轴承相配合零件的误差及主轴刚度和热变形等。对于不同类型的机床,其影响因素是不相同的。对于工件回转类机床(如车床、内圆磨床),因切削力的方向不变,主轴回转时作用在支承上的作用力方向也不变化,此时,主轴的支承轴颈的圆度误差影响较大,而轴承孔圆度误差影响较小,如图 5.6a) 所示;对于刀具回转类机床(如钻、铣、镗床),切削力方向随旋转方向而改变,此时,主轴支承轴颈的圆度误差影响较小,而轴承孔的圆度误差影响较大,如图 5.6b) 所示。

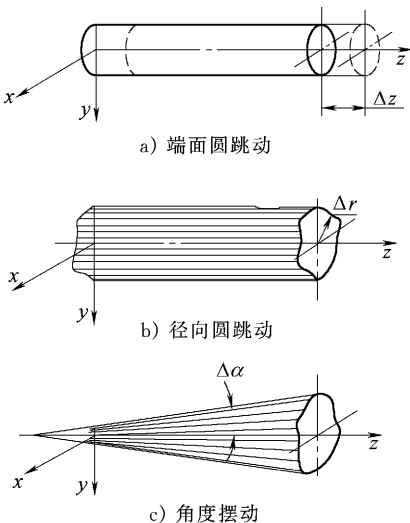


图 5.5 主轴回转误差的基本形式

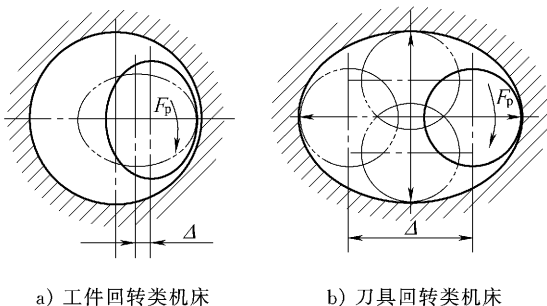


图 5.6 两类主轴回转误差的影响

3. 主轴回转精度的测量

(1) 静态测量法

生产现场常用的方法是:将精密测量心棒插入主轴锥孔,在其圆周表面和端部用千分表测量,如图 5.7 所示。此法简单易行,但不能反映主轴工作转速下的回转精度。

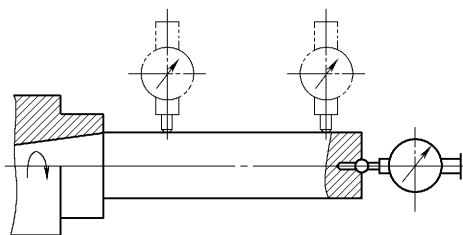


图 5.7 主轴回转精度的静态测量法

(2) 动态测量法

图 5.8a)所示是用于测量铣镗类机床主轴回转精度的装置,在主轴端部连接一个精密测量球 3,球的中心和主轴回转轴线略有偏心 e (由摆动盘 1 进行调整),在球的圆周互相垂直的位置上安装两个位移传感器 2、4,并与测量球之间保持一定间隙。当主轴旋转时,由于轴线的漂移引起测量间隙产生微小的变化,两个传感器就发出信号,经放大器 5 分别输入示波器 6 的水平 and 垂直的偏置板上。如果测量球是绝对的圆,主轴的旋转也是正确的,则示波器的光屏将显出一个以测量球偏心 e 为半径的真圆。若主轴的旋转存在着径向圆跳动,则传感器输出的信号中,将其跳动量叠加到球心所作的圆周运动上,此时,示波器光屏上的光点将描绘出一个非圆的李沙育图形,如图 5.8b)所示,它由不重合的每转回误差曲线叠加而成。包容该图形半径差为最小的两个同心圆的半径差 ΔR_{\min} 即为主轴回转轴线径向圆跳动,它影响加工工件的圆度误差。图形轮廓线宽度 B 表示随机径向圆跳动,它影响工件的表面粗糙度。

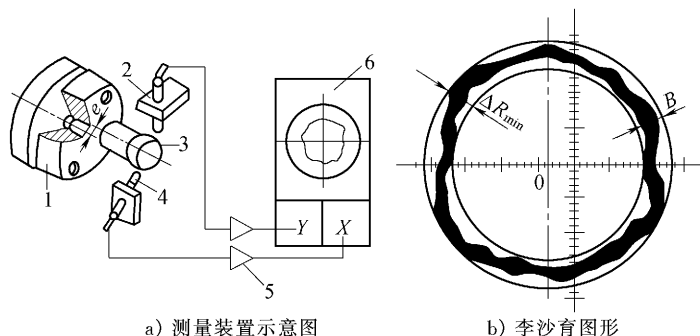


图 5.8 主轴回转精度的动态测量法

1—摆动盘 2、4—传感器 3—精密测量球 5—放大器 6—示波器

由于测量时示波器光屏上的光点是随主轴回转而描绘出的图形,直接反映了刀尖的轨迹,因而这种方法能准确地反映机床主轴的回转精度。

4. 提高主轴回转精度的措施

1) 提高主轴部件的制造精度 首先应提高轴承的回转精度,如选用高精度的滚动轴承,或采用高精度的多油楔动压轴承和静压轴承;其次是提高箱体支承孔、主轴轴颈和与轴承相配合零件有关表面的加工精度。

2) 对滚动轴承进行预紧 对滚动轴承适当预紧以消除间隙,甚至产生微量过盈。由于轴承内、外圈和滚动体弹性变形的相互制约,既增加了轴承刚度,又对轴承内、外圈滚道和滚动体的误差起均化作用,因而可提高主轴的回转精度。

3) 采用误差转移法 采用专用的工装夹具来保证工件的加工精度,使主轴的回转精度不反映到工件上去。例如,在外圆磨床上磨削外圆柱面时,采用两个固定顶尖支承,主轴只起传动作用。工件的回转精度完全取决于顶尖和中心孔的形状误差和同轴度误差,而提高顶尖和中心孔的精度要比提高主轴部件的精度容易且经济得多。

5.2.2 机床导轨误差

机床导轨副是实现直线运动的主要部件,其制造和装配精度是影响直线运动的主要因素,直接影响工件的加工精度。

1. 机床导轨误差的形式及对工件加工精度的影响

1) 导轨在水平面内的直线度误差 如图 5.9 所示,磨床导轨在 x 方向存在误差 Δ ,磨削外圆时工件沿砂轮法线方向产生位移,引起工件在半径方向上的误差 $\Delta R = \Delta$ 。当磨削长外圆柱表面时,造成工件的圆柱度误差。

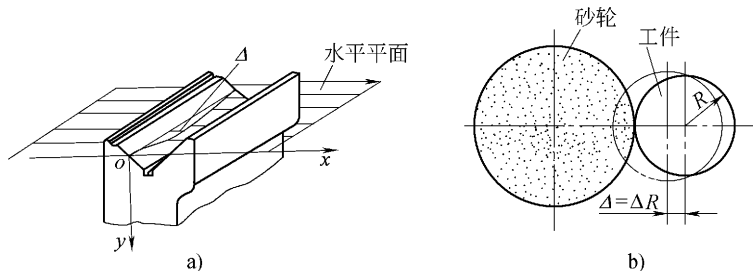


图 5.9 磨床导轨在水平面内的直线度误差

2) 导轨在垂直面内的直线度误差 如图 5.10 所示,由于磨床导轨在垂直面内存在误差 Δ ,磨削外圆时,工件沿砂轮切线方向(误差非敏感方向)产生位

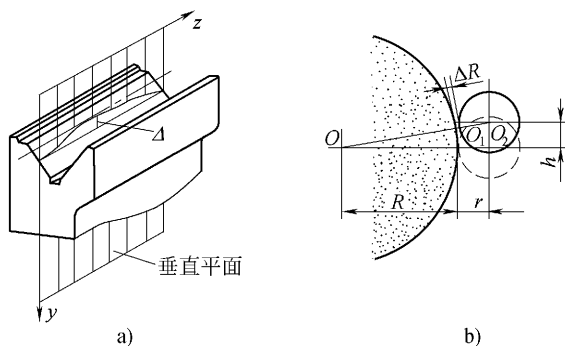


图 5.10 磨床导轨在垂直面内的直线度误差

移,此时工件半径方向上产生误差 $\Delta R \approx \Delta^2/2R$,其值甚小。但导轨在垂直方向上的误差对平面磨床、龙门刨床、铣床等将引起法向方向(误差敏感方向)的位移,将直接反映到被加工工件的表面,造成工件的形状误差。

由此可知,当原始误差值相等时,所引起的法线方向上的加工误差最大,切线方向上的误差极小,以致可以忽略不计。所以我们将对加工误差影响最大的方向(即通过刀刃的加工表面的法线方向)称为误差敏感方向。这是分析加工精度时的重要概念。

3) 导轨的扭曲 若车床前后导轨不平行(扭曲),使大溜板产生横向倾斜,刀具产生位移,因而引起工件形状误差,如图 5.11 所示。由几何关系可知,工件产生的半径误差值为 $\Delta R = \Delta x = \frac{H}{B}\Delta$ 。一般车床 $H/B \approx 2/3$,外圆磨床 $H/B \approx 1$,因此导轨扭曲引起的加工误差不容忽视。

4) 导轨对主轴回转轴线的平行度或垂直度 若导轨与机床主轴回转轴线不平行或不垂直,则会引起工件的几何形状误差,如车床导轨与主轴回转轴线在水平面内不平行,会使工件的外圆柱表面产生锥度;在垂直面内不平行,会使工件的外圆柱表面产生马鞍形误差。

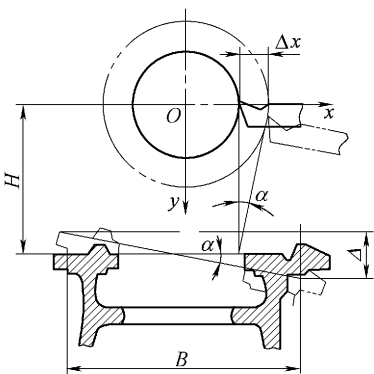


图 5.11 导轨的扭曲

2. 机床导轨误差的影响因素

机床制造误差,包括导轨、溜板的制造误差以及机床的装配误差是影响导轨原有精度的重要因素。机床的安装对导轨的原有精度影响也很大,机床安装不

正确引起的导轨误差,往往远大于制造误差,尤其是刚性较差的长床身,在自重的作用下容易产生变形。因此,若安装不正确或地基不牢固,都将使床身导轨产生变形。导轨磨损是造成导轨误差的另一重要原因。由于使用程度不同及受力不均,导轨沿全长上各段的磨损量不等,就引起导轨在水平面和垂直面内产生位移及倾斜。

3. 提高导轨导向精度的措施

1) 提高机床导轨、溜板的制造精度及安装精度。

2) 提高导轨的耐磨性 可采用耐磨合金铸铁、镶钢导轨、贴塑导轨、滚动导轨、静压导轨、导轨表面淬火等措施,以延长导轨寿命。

3) 机床必须安装正确,地基牢固 机床在安装时应有良好的地基,并严格进行测量和校正。使用期间还应定期复校和调整。

5.2.3 机床传动链误差

1. 传动链误差的概念

传动链的传动误差,是指内联系的传动链中首末两端传动元件之间相对运动的误差。它是按展成法原理加工工件(如螺纹、齿轮、蜗轮及其他零件)时,影响加工精度的主要因素。上述加工时,必须保证工件与刀具间有严格的传动关系。例如在滚齿机上用单头滚刀加工直齿轮时要求滚刀转一圈,工件转过一个齿。这种运动关系是由刀具与工件间的传动链来保证的。对于图 5.12 所示滚齿机传动系统,可具体表示为

$$\phi_g = \phi_d \times \frac{64}{16} \times \frac{23}{23} \times \frac{23}{23} \times \frac{46}{46} \times i_c i_f \times \frac{1}{96} \quad (5.1)$$

式中 ϕ_g ——工件转角;

ϕ_d ——滚刀转角;

i_c ——差动轮系的传动比,在滚切直齿时 $i_c = 1$;

i_f ——分度挂轮传动比 $i_f = \frac{e}{f} \times \frac{a}{b} \times \frac{c}{d}$ 。

传动链传动误差一般用传动链末端元件的转角误差来衡量。传动链中的各传动元件,如齿轮、蜗轮、蜗杆等,都因有制造误差(主要是影响运动精度的误差)、装配误差(主要是装配偏心)和磨损而产生转角误差,这些误差的累积,就是传动链的传动误差。而各传动元件在传动链中所处的位置不同,它们对工件加工精度(末端件的转角误差)的影响程度也不同。若传动链是升速传动,则传动元件的转角误差将被扩大;反之,则转角误差将被缩小。在图 5.12 中可以看出,影响传动误差最大的环节是工作台下的分度蜗杆副,其传动比为 $1/96$,在分度蜗杆副之前各环节的转角误差,经分度蜗杆副降速后就只有原来的 $1/96$ 了,

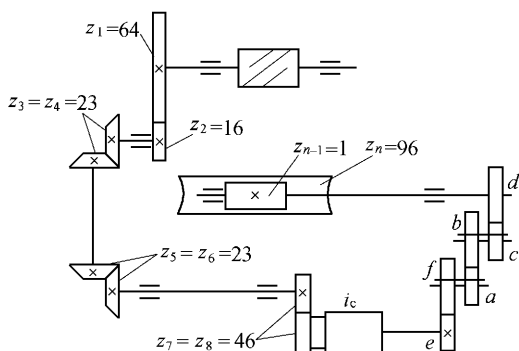


图 5.12 滚齿机的传动链

而分度蜗轮的转角误差则将 1:1 地直接反映到工件上。

2. 减少传动链传动误差的措施

① 尽可能减少传动环节 缩短传动链 就可得到较高的传动精度。

② 提高传动元件 特别是提高末端传动元件(如车床丝杠螺母副、滚齿机分度蜗杆副)的制造精度和装配精度。此外,可采用各种消除间隙装置以消除传动齿轮间的间隙。

③ 在传动链中按降速比递增的原则分配各传动副的传动比。传动链末端传动副的降速比越大,则传动链中其余各传动元件误差的影响就越小。如一些精密滚齿机的分度蜗轮的齿数在 1 000 齿以上。

④ 采用误差校正机构。测出传动误差,在原传动链中人为地加入一个误差,其大小与传动链本身的误差相等且方向相反,从而使之相互抵消。

例如,高精度丝杠车床常采用的机械式校正机构,其原理如图 5.13 所示。根据测量被加工工件 1 的导程误差,设计出校正尺 5 上的校正曲线 7。校正尺 5 固定在机床床身上。加工螺纹时,车床丝杠带动螺母 2 及与其相连的刀架和杠杆 4 移动。同时,校正尺 5 上的校正误差曲线 7 通过滚柱触头 6、杠杆 4 使螺母 2 产生一个附加转动,从而使刀架得到一个附加位移,以补偿传动误差。

采用机械式的校正装置只能校正机

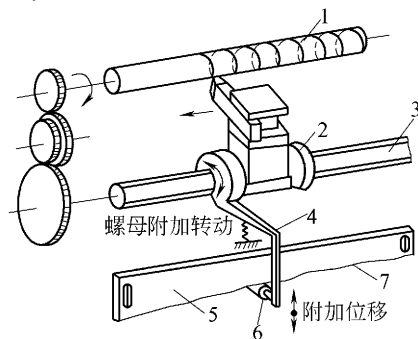


图 5.13 丝杠误差校正机构

- 1—工件 2—丝杠螺母 3—车床丝杠
4—杠杆 5—校正尺
6—滚柱触头 7—校正误差曲线

床静态的传动误差。如果要校正机床静态及动态传动误差,则需采用计算机控制的传动误差补偿装置。

5.2.4 夹具与定位误差分析

1. 夹具的误差分析

机械加工时,工艺系统中影响工件加工精度的因素很多。与夹具有关因素如图 5.14 所示,有工件在夹具上的定位误差 Δ_D ,刀具与夹具的对刀误差 Δ_T ,夹具在机床上的安装误差 Δ_A 和夹具本身的制造误差 Δ_Z 。而影响加工精度的其他因素综合称为加工方法误差 Δ_G 。上述各项误差均导致刀具相对与工件的位置不准确,形成工件的总加工误差 $\Sigma\Delta$ 。

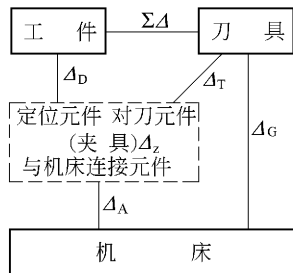


图 5.14 工件在夹具中时影响加工精度的主要因素

① 因工件在夹具上定位却位置不一致而引起的误差,称为定位误差 Δ_D 。

② 因刀具相对于夹具对刀导向元件的位置不准确而引起的加工误差,称为对刀误差 Δ_T 。如图 1.55 钻夹具中钻头与钻套的间隙,会引起钻头的位移或倾斜,造成工件的加工误差。

③ 因夹具在机床上的安装不准确而引起的加工误差,称为夹具的安装误差 Δ_A 。如图 1.56 铣夹具安装在铣床工作台上,其定向键卡在工作台 T 形槽内,由于定向键与 T 形槽的间隙,会使夹具安装偏斜,造成工件的加工误差。

④ 因夹具在制造、装配、调整的误差,使夹具上的定位元件、对刀导向元件及安装基面三者间的位置不准确而引起的加工误差,称为夹具的制造误差 Δ_Z 。如图 1.55 钻夹具中钻套中心对定位表面的距离误差,钻套中心对夹具底面的垂直度误差等,均影响钻孔时工件的位置精度。

⑤ 因切削加工中工艺系统其他因素引起的加工误差,一般统称为加工方法误差 Δ_G 。该误差影响因素多,不便计算,常根据经验,设为工件公差的 $1/3$ 。

由于上述误差均为独立随机变量,为保证工件的加工精度,应用概率法原理,必须满足条件

$$\Sigma\Delta = \sqrt{\Delta_D^2 + \Delta_T^2 + \Delta_A^2 + \Delta_Z^2 + \Delta_G^2} \leq T \quad (5.2)$$

2. 定位误差分析

一批工件逐个在夹具上定位时,由于工件及定位元件存在公差,使各个工件所占据的位置不完全一致,加工后形成加工尺寸的不一致,即为加工误差。这种只与工件定位有关的加工误差,称为定位误差,用 Δ_D 表示。

(1) 产生定位误差的原因

1) 基准不重合误差 Δ_B 图 5.15a) 是在工件上铣缺口的工序简图, 加工尺寸为 A 和 B 。图 5.15b) 是加工示意图, 工件以底面和 E 面定位。 C 是确定夹具与刀具相互位置的对刀尺寸, 在—批工件的加工过程中, C 的大小是不变的。

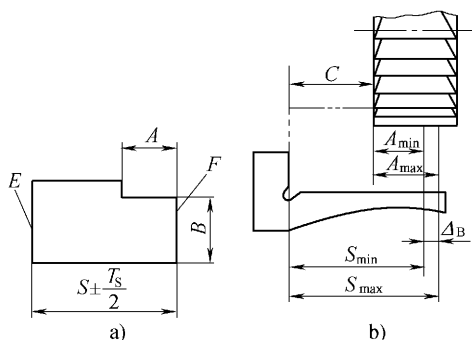


图 5.15 基准不重合误差

加工尺寸 A 的工序基准是 F , 定位基准是 E , 两者不重合。当—批工件逐个在夹具上定位时, 受尺寸 $S \pm T_s/2$ 的影响, 工序基准 F 的位置是变动的。 F 的变动直接影响 A 的大小, 造成 A 的尺寸误差。这种因工序基准与定位基准不重合, 而引起的工序基准相对于定位基准在加工尺寸方向上的最大变动范围, 称为基准不重合误差, 以 Δ_B 表示。

由图 5.15b) 可知, 加工尺寸 A 的 $\Delta_B = T_s$ 。

图 5.15 上加工尺寸 B 的工序基准与定位基准均为底面, 基准重合, 所以 $\Delta_B = 0$ 。

显然, 当工序基准的变动方向与加工方向成夹角时, 基准不重合误差的大小等于工序基准与定位基准间尺寸的公差在加工尺寸方向上的投影。若工序基准与定位基准间存在 n 个环节, 则

$$\Delta_B = \sum_{i=1}^n T_i \cdot \cos \alpha_i \quad (5.3)$$

2) 基准位移误差 Δ_Y 图 5.16a) 是在圆柱面上铣槽的工序简图, 加工尺寸为 A 和 B 。图 5.16b) 是加工示意图, 工件以内孔 D 在圆柱心轴(直径为 d_0)上定位, O 是心轴中心, C 是对刀尺寸。

尺寸 A 的工序基准是内孔轴线, 定位基准也是内孔轴线, 两者重合 $\Delta_B = 0$ 。但是, 由于定位副(工件内孔面与心轴圆柱面)有制造公差和最小配合间隙, 使得工件定位基准(工件内孔轴线)相对于刀具(位置不变)产生了变化, 定位基准

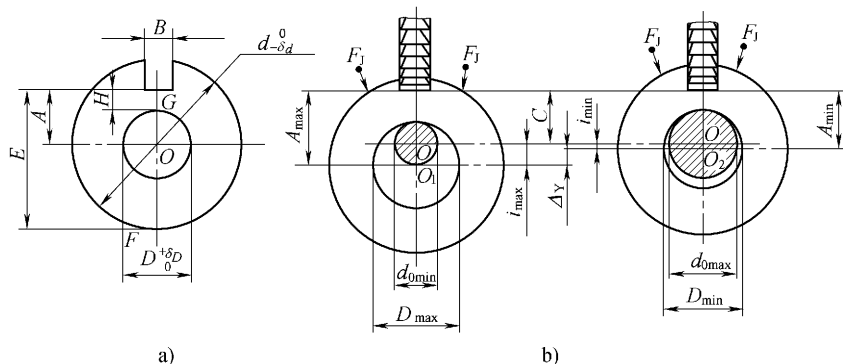


图 5.16 基准位移误差

的位置变动影响到尺寸 A 的大小,造成了 A 的误差。这种由于定位副制造误差而引起的定位基准相对于刀具在加工尺寸方向上的最大变动范围,称为基准位移误差,以 Δ_Y 表示。

由图 5.16b) 可知,定位心轴水平放置,一般情况下,由于重力的作用,定位基准在垂直方向上产生位移。当工件孔的直径为最大(D_{\max}),定位销直径为最小($d_{0\min}$)时,定位基准的位移量 i 为最大($i_{\max} = OO_1$),加工尺寸 A 也最大(A_{\max});当工件孔的直径为最小(D_{\min}),定位销直径为最大($d_{0\max}$)时,定位基准的位移量 i 为最小($i_{\min} = OO_2$),加工尺寸也最小(A_{\min})。因此有

$$\Delta_Y = A_{\max} - A_{\min} = i_{\max} - i_{\min} = OO_1 - OO_2 = \frac{D_{\max} - d_{0\min}}{2} - \frac{D_{\min} - d_{0\max}}{2} = \frac{D_{\max} - D_{\min} + d_{0\max} - d_{0\min}}{2} = \frac{\delta_D + \delta_{d_0}}{2} \quad (5.4)$$

当定位基准的变动方向与加工尺寸的方向不一致,两者之间成夹角 α 时,基准位移误差等于定位基准的变动范围在加工尺寸方向上的投影。即

$$\Delta_Y = \delta_i \cdot \cos \alpha \quad (5.5)$$

式中 δ_i ——一批工件定位基准的位移量。

在图 5.16 中,设 $A = 40 \pm 0.1 \text{ mm}$, $D = \phi 50^{+0.03}_0 \text{ mm}$, $d_0 = \phi 50^{-0.01}_{-0.04} \text{ mm}$, 根据式 (5.4) 有 $\Delta_Y = \frac{\delta_D + \delta_{d_0}}{2}$, 所以 $\Delta_Y = \frac{(0.03 + 0.03)}{2} \text{ mm} = 0.03 \text{ mm}$ 。

综上所述,定位误差是由于基准不重合误差和基准位移误差所引起的工序基准相对于刀具在加工尺寸方向上的最大变动范围。基准不重合误差、基准位移误差与定位误差的关系如图 5.17 所示。

(2) 定位误差的计算方法

1) 合成法 根据定位误差产生的原因,定位误差应是基准不重合误差与基

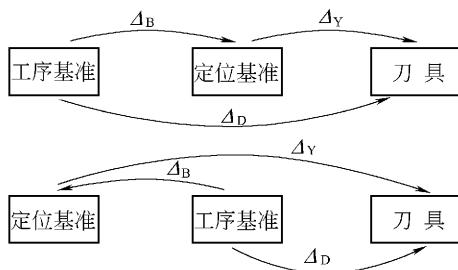


图 5.17 基准不重合误差、基准位移误差与定位误差的关系

准位移误差的合成。计算时,先分别算出 Δ_B 和 Δ_Y ,然后将两者合成而得 Δ_D 。步骤如下:

① $\Delta_Y \neq 0, \Delta_B = 0$ 时,则 $\Delta_D = \Delta_Y$;

② $\Delta_B \neq 0, \Delta_Y = 0$ 时,则 $\Delta_D = \Delta_B$;

③ $\Delta_Y \neq 0, \Delta_B \neq 0$ 时,应判断相关性(即有无公共变量):

a. 若工序基准不在定位基面上,即 Δ_B 与 Δ_Y 不相关,则 $\Delta_D = \Delta_Y + \Delta_B$ 。

b. 若工序基准在定位基面上,即 Δ_B 与 Δ_Y 相关,则还应判断方向性:在定位基面尺寸由大变小(或由小变大)时,分析定位基准的变动方向;在定位基面尺寸作同样变化时,设定位基准的位置不动,分析工序基准的变动方向。若上述两者变动方向相同,则 $\Delta_D = \Delta_Y + \Delta_B$;若上述两者变动方向相反,则 $\Delta_D = \Delta_Y - \Delta_B$ 。

方向性的判断还有一种很方便实际的办法:若工序基准和定位接触点在定位基准的异侧,即为方向相同 $\Delta_D = \Delta_Y + \Delta_B$;若工序基准和定位接触点在定位基准的同侧,即为方向相反 $\Delta_D = \Delta_Y - \Delta_B$ 。

例题 5.1 用合成法求图 5.16 所示加工尺寸 E 的定位误差。

解 ① 加工尺寸 E 的工序基准为工件外圆面的下母线 F ,而定位基准为工件内孔轴线 O ,两者不重合,存在基准不重合误差 Δ_B ,其大小等于尺寸 OF 的公差在加工尺寸方向上的投影,因 OF 与加工尺寸 E 方向一致,所以 $\Delta_B = \delta_d/2$ 。

② 定位心轴水平放置,根据式(5.4),定位基准在垂直方向上位移 $\Delta_Y = (\delta_D + \delta_{d_0})/2$ 。

③ 因为工序基准不在定位基面上,即 Δ_B 与 Δ_Y 不相关,所以

$$\Delta_D = \Delta_Y + \Delta_B = \frac{\delta_D + \delta_{d_0} + \delta_d}{2}$$

例题 5.2 求图 5.16 中加工尺寸 H 的定位误差。

解 ① 工序基准是孔的上母线 G ,定位基准为孔的轴线 O ,基准不重合,基准

不重合误差为 $\Delta_B = \delta_d/2$ 。

② 定位心轴水平放置,根据公式(5.4),定位基准在垂直方向上位移 $\Delta_Y = (\delta_D + \delta_{d_0})/2$ 。

③ 工序基准在定位基面上,即 Δ_B 与 Δ_Y 相关,两者有共同的变量 δ_d ,因此要判断方向性。当定位孔由小变大时 Δ_Y (或定位基准 O) 向下移动;设定位基准的位置不变,而 Δ_B (或工序基准 G) 则向上变动,两者方向相反,所以 $\delta_D = \Delta_Y - \Delta_B = \delta_{d_0}/2$ 。

由此例可见,合成法直观,有助于初学者理解定位误差产生的原因。故一般多用合成法计算定位误差。

2) 极限位置法 此法根据定位误差的概念直接计算出工序基准相对于刀具在加工尺寸方向上的最大变动范围。例如求图 5.18a) 中的加工尺寸 A 的定位误差,就是要求出工序基准 O 相对于刀具的最大变动范围。因此计算定位误差时,需先画出工件定位时工序基准 O 的变动范围的几何图形,直接按几何关系确定其最大的变动范围,即为定位误差。

图 5.18a) 中工件的外径 $d \pm \delta_d/2$ 与已加工平面的尺寸 $B \pm \delta_B/2$ 是两个变量,可用作图法画出 B, d 两个变量在极限尺寸时工序基准 O 的各个位置,如图 5.18b) 所示。

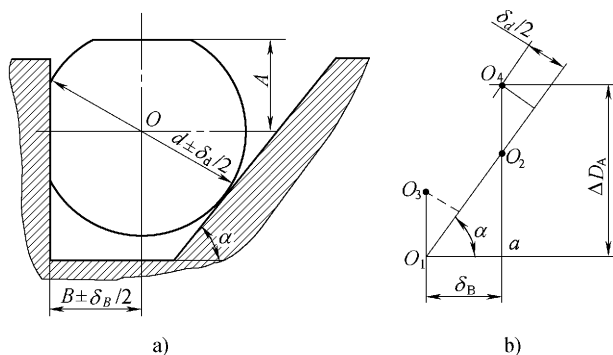


图 5.18 用极限位置法求定位误差

在 B_{\min}, d_{\min} 时,工件中心最低,为 O_1 点;在 B_{\max}, d_{\max} 时,工件中心最高,为 O_4 点。在加工尺寸 A 方向上工件中心 O 的最大变动量 aO_4 ,即为定位误差 Δ_D 。根据几何关系,可求出 $\Delta D_A = aO_4 = aO_2 + O_2O_4 = \delta_B \tan \alpha + \frac{\delta_d}{2 \cos \alpha}$ 。

用极限位置法求定位误差直观、简便,在有些场合极为方便。缺点是不能将基准不重合误差和基准位移误差区分开来。

3) 分析计算法(微分法) 此法根据工件定位的状况,建立工件加工尺寸 D

与有关的工件和夹具相应各几何参数 x_i 的尺寸关系式：

$$D = \phi(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (5.6)$$

对式 (5.6) 求全微分, 用微小增量代替微分, 并将微小增量视为尺寸误差, 即可求出加工尺寸 D 的定位误差：

$$dD = \left| \frac{\partial \phi}{\partial x_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{\partial \phi}{\partial x_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{\partial \phi}{\partial x_n} \Delta x_n \right| \quad (5.7)$$

以图 5.18a) 所示工件的定位方式求加工尺寸 A 的定位误差为例, 画出尺寸 A 与工件和夹具相应各几何参数的尺寸关系, 如图 5.19 所示。

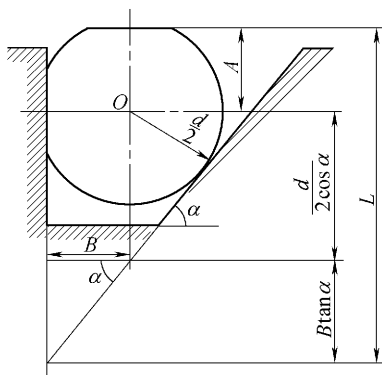


图 5.19 用微分法求定位误差

其尺寸关系式为
$$A = L - B \tan \alpha - \frac{d}{2 \cos \alpha}$$

式中 B 与 d 为变量。忽略 α 的误差, 则各组成环不含公共变量。对上式全微分

$$\Delta_D = dA = |\delta_B \tan \alpha| + \left| \frac{\delta_d}{2 \cos \alpha} \right|$$

若考虑 α 角的误差, 将 α 视作变量, 则全微分为

$$\Delta_D = dA = |\delta_B \tan \alpha| + |B \sec^2 \alpha \delta_\alpha| + \left| \frac{\delta_d}{2 \cos \alpha} \right| + \left| \frac{d \sin \alpha}{2 \cos^2 \alpha} \delta_\alpha \right|$$

此法对包含多误差因素的复杂定位方案的定位误差分析计算较方便。

(3) 各种定位方法的基准位移误差

1) 平面定位 单一平面定位的定位基准一般都制造得比较准确, 故一般平面定位 $\Delta_Y = 0$ 。而阶梯面定位时, 要视具体情况具体分析。

2) 孔销定位 孔销定位时, 若定位基准在重力、夹紧力等的作用下向单方

向位移时 Δ_Y 见公式 (5.4)。若定位基准的位移为任意方向时,定位基准(孔中心)的最大变动量等于孔销间的最大间隙(图 5.20)即

$$\Delta_Y = X_{\max} = D_{\max} - d_{0\min} \quad (5.8)$$

3) V 形块定位 工件以外圆在 V 形块上定位,如图 5.21 所示。一般不考虑 V 形块的制造误差,则定位基准始终在 V 形块对称平面上,故水平方向上 $\Delta_Y = 0$ 。但在垂直方向上,由于工件外圆直径的制造误差,由此产生的基准位移误差为:

$$\Delta_Y = OO_1 = \frac{d}{2\sin\frac{\alpha}{2}} - \frac{d - \delta_d}{2\sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{\alpha}{2}} \quad (5.9)$$

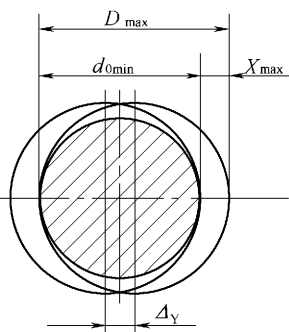


图 5.20 孔销定位任意边接触时的基准位移误差

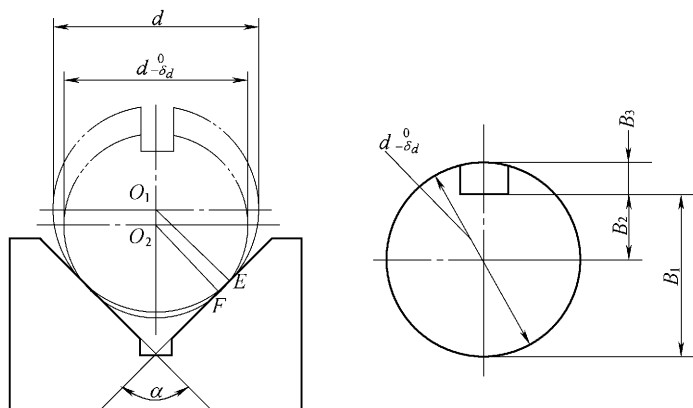


图 5.21 V 形块定位的误差分析

对图 5.21 中三个不同的加工尺寸标注,其定位误差的计算分别为:

① 当加工尺寸标为 B_2 时,工序基准为外圆中心,定位基准为 V 形块检验心

轴中心,基准重合 $\Delta_B = 0$,故 $\Delta_D = \Delta_Y = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{\alpha}{2}}$ 。

② 当加工尺寸标为 B_1 时,工序基准为外圆下母线,定位基准为 V 形块检验

心轴中心,基准不重合 $\Delta_B = \frac{\delta_d}{2}$,而 $\Delta_Y = \frac{\delta_d}{2\sin\frac{\alpha}{2}}$ 。判断相关性:工序基准(外圆)

在定位基面(V 形块 V 形面)上,两者相关(有公共变量 δ_d)。再判断方向性:当定位基面直径由大变小时,定位基准向下变动;当定位基面直径由大变小时,定位基准位置不动,工序基准向上变动,两者方向相反,故

$$\Delta_D = \Delta_Y - \Delta_B = \frac{\delta_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{\delta_d}{2} = \frac{\delta_d}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

③ 当加工尺寸标为 B_3 时, 工序基准为外圆上母线, 定位基准为 V 形块检验心轴中心, 基准不重合 $\Delta_B = \frac{\delta_d}{2}$, 而 $\Delta_Y = \frac{\delta_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}}$ 。判断相关性: 工序基准(外圆)

在定位基面(V形块V形面)上, 两者相关(有公共变量 δ_d)。再判断方向性: 当定位基面直径由大变小时, 定位基准向下变动; 当定位基面直径由大变小时, 定位基准位置不动, 工序基准向下变动, 两者方向相同, 故

$$\Delta_D = \Delta_Y + \Delta_B = \frac{\delta_d}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{\delta_d}{2} = \frac{\delta_d}{2} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right)$$

4) 一面两销定位 工件以一面两孔在夹具的一面两销上定位时, 如图 5.22 所示, 由于 O_1 孔与圆柱销存在最大配合间隙 $X_{1\max}$, O_2 孔与菱形销存在最大配合间隙 $X_{2\max}$, 因此会产生基准的直线位移误差 Δ_Y 和基准角位移误差 Δ_α 。

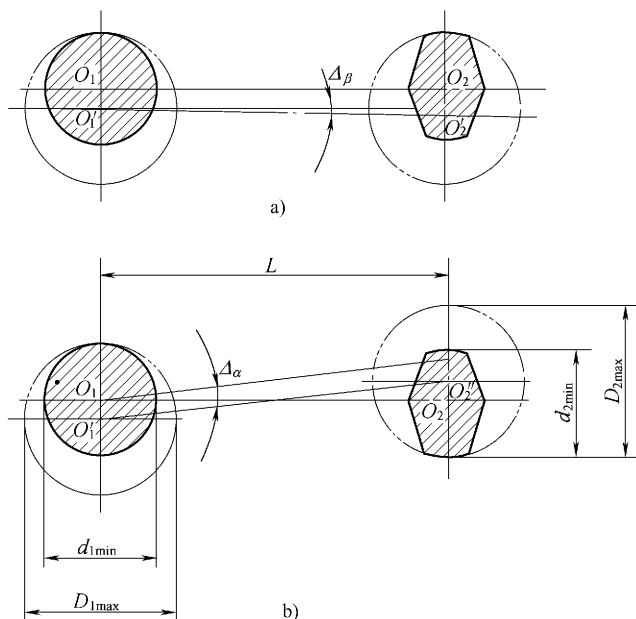


图 5.22 一面两销的定位误差分析

因一般情况下 $X_{1\max} < X_{2\max}$, 所以直线位移误差 Δ_Y 受 $X_{1\max}$ 的控制。当工件在外力作用下单方向位移时, 根据公式(5.4) $\Delta_Y = (\delta_{D1} + \delta_{d1})/2$; 当工件可在任意方向位移时 $\Delta_Y = X_{1\max}$ 。

如图 5.22b) 所示, 当工件可在任意方向移动转动时, 工件的定位基准 $O'_1O'_2$ 产生最大转角误差为

$$\pm \Delta_\alpha = \pm \arctan \frac{X_{2\max} + X_{1\max}}{2L} \quad (5.10)$$

另外工件也可能出现单向转动, 如图 5.22a) 所示, 转角误差为

$$\pm \Delta_\beta = \pm \arctan \frac{X_{2\max} - X_{1\max}}{2L} \quad (5.11)$$

一面两销定位的定位误差, 要根据工件加工尺寸方向和位置的不同作具体分析。

例题 5.3 工件定位方式如图 5.23 所示, 求加工尺寸 A 的定位误差。

解: ① 工序基准为圆孔中心线 O , 横向上的定位基准也是 O , 基准重合; 纵向上的定位基准为底面, 定位基准与工序基准不重合, 且工序基准的位移方向与加工尺寸方向间的夹角 α 为 45° , 根据式(5.3) $\Delta_B = \delta_i \cos \alpha = 0.2 \cos 45^\circ \text{ mm} = 0.1414 \text{ mm}$

② 定位基准为平面定位, 一般 $\Delta_Y = 0$, 而横向上为定心夹紧 $\Delta_Y = 0$ 。

③ $\Delta_D = \Delta_B = 0.1414 \text{ mm}$

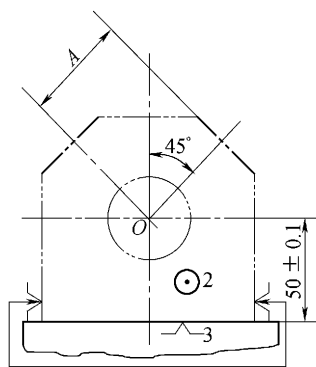


图 5.23 工件铣 45° 平面的定位示意图

例题 5.4 钻铰图 5.24a) 所示凸轮上的两小孔 ($\phi 16 \text{ mm}$), 定位方式如图 5.23b) 所示。定位销直径为 $\phi 22_{-0.021}^0 \text{ mm}$, 求加工尺寸 $100 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 的定位误差。

解: ① 工序基准与定位基准重合 $\Delta_B = 0$ 。

② 定位方式为孔销定位, 在限制转动自由度定位元件力的作用下单方向位移, 定位基准移动方向与加工尺寸方向间的夹角为 $30^\circ \pm 15'$ 。根据式(5.4)和式(5.5)得

$$\Delta_Y = \frac{\delta_D + \delta_{d0}}{2} \cos \alpha = \frac{0.033 + 0.021}{2} \cos 30^\circ \text{ mm} = 0.02 \text{ mm}$$

③ $\Delta_D = \Delta_Y = 0.02 \text{ mm} < T/3 = 0.2 \text{ mm}/3 \approx 0.067 \text{ mm}$ 。

例题 5.5 如图 5.25a) 所示圆环形工件, 外圆尺寸为 $\phi 40_{-0.03}^0 \text{ mm}$, 内孔尺寸为 $\phi 25_{+0.02}^0 \text{ mm}$, 内外圆同轴度为 $\phi 0.02 \text{ mm}$ 。欲钻小孔 $\phi 5 \text{ mm}$, 保证尺寸 $36 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 有两种定位方式 ① 如图 5.25b) 所示, 以定位销 $\phi 25_{-0.015}^0 \text{ mm}$

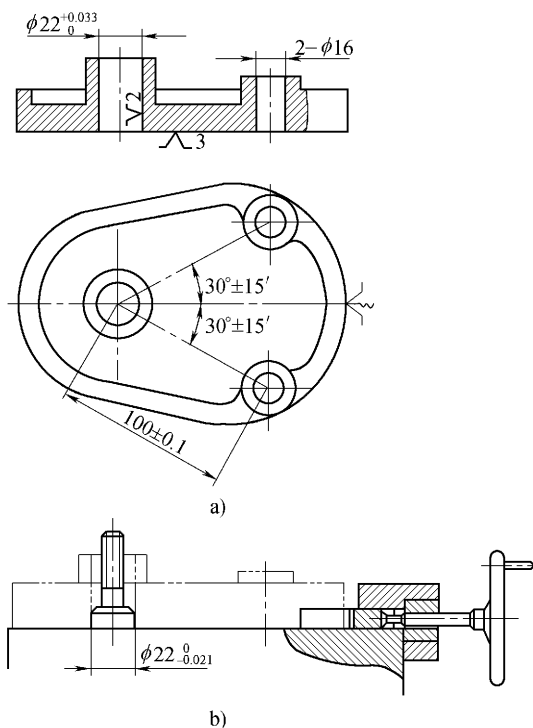


图 5.24 凸轮加工定位简图

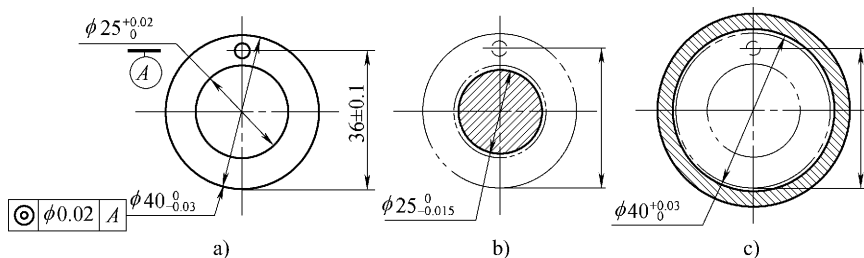


图 5.25 圆环工件钻小孔定位示意图

定位(轴线垂直安放);②如图 5.25c)所示,以圆定位套 $\phi 40^{+0.03}_0$ mm 定位(轴线垂直安放)。试比较两定位方案的定位误差。

解:方案①中,工序基准为外圆下母线,定位基准为内孔中心,基准不重合,按式(5.3),基准不重合误差为 $\Delta_B = \delta_D/2 + \textcircled{\circ} = (0.015 + 0.02)$ mm = 0.035 mm;

定位方式为孔销配合,任意方向位移,按式(5.8),基准位移误差为 $\Delta_Y = X_{\max} = 0.035 \text{ mm}$;基准不重合误差和基准位移误差两者不相关 $\Delta_D = \Delta_Y + \Delta_B = 0.07 \text{ mm} > T/3 = 0.067 \text{ mm}$ 。

方案②中,工序基准为外圆下母线,定位基准为外圆中心,基准不重合,按式(5.3)基准不重合误差为 $\Delta_B = \delta_D/2 = 0.015 \text{ mm}$;

定位方式为孔销配合,任意方向位移,按式(5.8),基准位移误差为 $\Delta_Y = X_{\max} = 0.06 \text{ mm}$;

根据合成法,基准不重合误差和基准位移误差两者相关,都是 δ_D 的函数(工序基准在定位基面上),还要判断方向性。但本例方向性很难判断,故改用极限法,直接求工序基准的最大位移量,也就是工件在定位套中的最大间隙,即 $\Delta_D = X_{\max} = 0.06 \text{ mm} < T/3 = 0.06 \text{ mm}$ 。

② 方案定位误差较小。

例题 5.6 图 5.26a) 所示工件,以一面两孔定位钻小孔 $\phi 5$,圆柱销为 $\phi 20_{-0.020}^{-0.007} \text{ mm}$,菱形销为 $\phi 18_{-0.050}^{-0.032} \text{ mm}$,试求加工尺寸的定位误差。

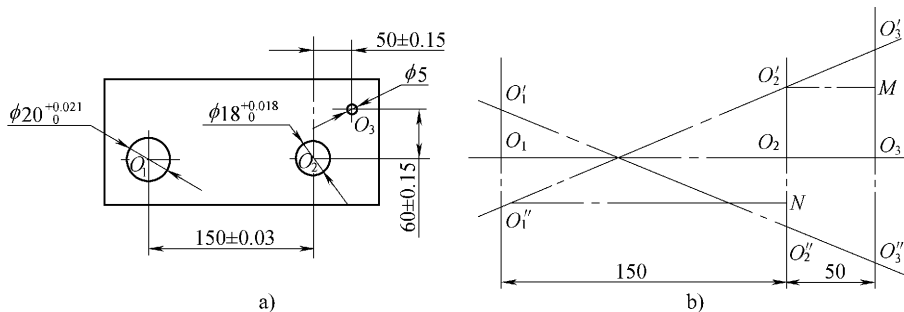


图 5.26 一面两孔定位简图

解: 1) 尺寸 $(50 \pm 0.15) \text{ mm}$ 工序基准为 O_2 , 定位基准为 O_1 , 基准不重合, 按式(5.3)基准不重合误差为 $\Delta_B = 0.06 \text{ mm}$;

定位方式为孔销配合,任意方向位移,按式(5.8),基准位移误差为 $\Delta_Y = X_{1\max} = 0.041 \text{ mm}$;基准不重合误差和基准位移误差两者不相关 $\Delta_D = \Delta_Y + \Delta_B = 0.101 \text{ mm} \approx T/3 = 0.1 \text{ mm}$ 。

2) 尺寸 $(60 \pm 0.15) \text{ mm}$ 工序基准为 O_1O_2 连线, 定位基准为 O_1O_2 连线, 基准重合, 基准不重合误差为 $\Delta_B = 0$;

定位方式为一面两孔, O_1 、 O_2 的上下最大位移分别为 $X_{1\max} = 0.041 \text{ mm}$; $X_{2\max} = 0.068 \text{ mm}$ 。造成定位基准(O_1O_2 连线)可任意转动, 其中, 以 O_1 、 O_2 一上一下及一下一上所引起基准位移量为最大, 如图 5.26b) 所示, 而在小孔尺寸 $(60 \pm 0.15) \text{ mm}$ 位置上的变化量 $O'_3O''_3$ 即为所求的基准位移误差。所以 $\Delta_Y = O'_3O''_3 =$

$$2O_3 O'_3 = 2(O_3 M + MO'_3) = 2\left(O_3 M + \frac{O'_2 N \cdot l}{L}\right) = 2\left(\frac{X_{2\max}}{2} + \frac{X_{1\max} + X_{2\max}}{2} \cdot \frac{l}{L}\right) = 2\left(\frac{0.068}{2} + \frac{0.041 + 0.068}{2} \times \frac{50}{150}\right) \text{ mm} = 0.104 \text{ mm} \approx T/3 = 0.1 \text{ mm}。$$

本例题中,若根据基准重合原则,在 $\phi 18_{-0.050}^{-0.032}$ mm 孔处放置圆柱销,可使两个尺寸的定位误差都减小。

3. 减少夹具及定位误差的措施

1) 提高夹具的精度 提高夹具定位元件、对刀元件和夹具体上的相关配合表面及夹具体与机床连接表面的制造精度,提高夹具的装配精度;仔细调整夹具在机床上的位置,提高夹具的安装精度;仔细调整刀具与夹具的位置,提高夹具的对刀精度。

2) 减少定位误差 尽量选工序基准为定位基准,避免基准不重合误差;选用基准位移误差小的定位方式(如定心夹紧装置等);提高工件定位面与夹具定位元件的加工精度,减少配合间隙,以减少基准位移误差。

3) 减少夹具的磨损 注意提高夹具易磨损件(如钻套、定位销等)的耐磨性。对易磨损件要设置成可换装置,当磨损到一定程度后须及时更换。

5.2.5 工艺系统的其他几何误差

1. 刀具误差

刀具误差是由于刀具制造误差和刀具磨损所引起的。

机械加工中常用的刀具有:一般刀具、定尺寸刀具和成形刀具。一般刀具(普通车刀、单刃镗刀和平面铣刀等)的制造误差,对加工精度没有直接影响。定尺寸刀具(如钻头、铰刀、拉刀等)的尺寸误差直接影响加工工件的尺寸精度。刀具在安装使用中不当,也将影响加工精度。成形刀具和展成刀具(如成形车刀、成形铣刀及齿轮刀具等)的制造误差,直接影响被加工表面的形状精度。

刀具的磨损,除了对切削性能、加工表面质量有不良影响外,也直接影响加工精度。如车削长轴外圆时,刀具的逐渐磨损会使工件产生锥形的圆柱度误差,在用调整法加工时,刀具或砂轮的磨损会扩大工件的尺寸分散范围。

正确地选用刀具材料,应用新型刀具材料,合理选用刀具几何参数和切削用量,正确刃磨刀具,正确采用冷却润滑液,可有效减少刀具的磨损。大批量生产可采用补偿装置对刀具磨损进行自动补偿。

2. 测量误差

工件在加工过程中要用各种量具、量仪等进行检验测量,再根据测量结果对工件进行试切或调整机床。量具本身的制造误差,测量时的接触力、温度、目测正确程度等,都直接影响加工误差。因此,要正确地选择和使用量具,以保证测

量精度。

3. 调整误差

在机械加工的每一工序中,总是要对工艺系统进行这样或那样的调整工作。由于调整不可能绝对地准确,因而产生调整误差。

工艺系统的调整有如下两种基本方式,不同的调整方式有不同的误差来源。

(1) 试切法调整

单件小批生产中,通常采用试切法调整。方法是:对工件进行试切—测量—调整—再试切,直到达到要求的精度为止。这时,引起调整误差的因素是:

1) 进给机构的位移误差 在试切中,总是要微量调整刀具的位置。在低速微量进给中,常会出现进给机构的“爬行”现象,其结果使刀具的实际位移与刻度盘上的数值不一致,造成加工误差。

2) 最小切削层厚度极限的影响 精加工时,试切的最后一刀余量往往很小,切削刃只起挤压作用而不起切削作用。但正式切削时的深度较大,切削刃不打滑,就会多切工件。因此,工件尺寸就与试切时不同,形成工件的尺寸误差。

(2) 调整法调整

采用调整法对工艺系统进行调整时,也要以试切为依据。因此,上述影响试切法调整精度的因素,同样对调整法也有影响。此外,影响调整精度的因素还有:

1) 用定程机构调整 调整精度取决于行程挡块、靠模及凸轮等机构的制造精度和刚度,以及与其配合使用的离合器、控制阀等的灵敏度。

2) 用样件或样板调整 调整精度取决于样件或样板的制造、安装和对刀精度。

3) 抽样件数的影响 工艺系统初调好以后,一般要试切几个工件,并以其平均尺寸作为判断调整是否准确的依据。由于试切加工的工件数(称为抽样件数)不可能太多,不能完全反映整批工件切削过程中的各种随机误差,故试切加工几个工件的平均尺寸与总体尺寸不能完全符合,也造成加工误差。

5.3 机械加工工艺系统动态误差的影响分析

5.3.1 工艺系统受力变形影响分析

1. 工艺系统刚度的概念

(1) 基本概念

机械加工中,由机床、夹具、刀具和工件组成的工艺系统,在切削力、传动力、惯性力、夹紧力以及重力等的作用下,将产生相应的变形,破坏刀具和工件之间

正确的位置关系,从而产生加工误差。例如,车削细长轴时,工件在切削力作用下弯曲变形,加工后会产生腰鼓形的圆柱度误差,如图 5.27a)所示;在内圆磨床上用横向切入磨孔时,由于磨头主轴受力弯曲变形,磨出的孔会产生带有锥度的圆柱度误差,如图 5.27b)所示。

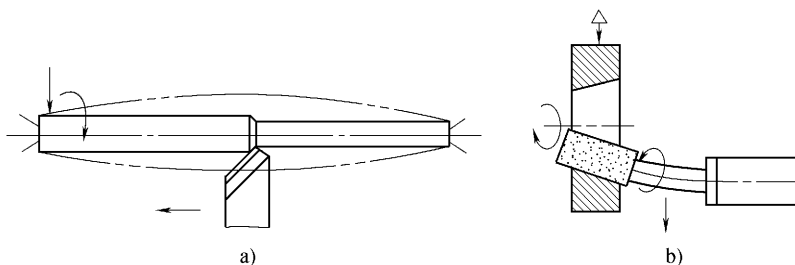


图 5.27 工艺系统受力变形引起的加工误差

工艺系统在外力作用下产生变形的大小,不仅取决于外力的大小,而且和工艺系统抵抗外力使其变形的能力,即工艺系统的刚度有关。对于工艺系统受力变形,主要研究误差敏感方向上的变形。因此,工艺系统刚度 K_{xt} 定义为:加工表面法向方向上切削力 F_p 与在总切削力的综合作用下,工艺系统的法向变形 δ 的比值,即 $K_{xt} = F_p / \delta$ 。

由于工艺系统各个环节在外力作用下都会产生变形,故工艺系统的总变形量应是

$$\delta = \delta_{jc} + \delta_{dj} + \delta_{jj} + \delta_g \quad (5.12)$$

而根据刚度的概念 $k_{jc} = \frac{F_p}{\delta_{jc}}$ $k_{dj} = \frac{F_p}{\delta_{dj}}$ $k_{jj} = \frac{F_p}{\delta_{jj}}$ $k_g = \frac{F_p}{\delta_g}$

式中 δ_{jc} 、 δ_{dj} 、 δ_{jj} 、 δ_g ——分别为机床、夹具、刀架、工件的变形量(mm);

k_{jc} 、 k_{dj} 、 k_{jj} 、 k_g ——分别为机床、夹具、刀架、工件的刚度(N/mm);

所以,工艺系统刚度计算的一般式为

$$\frac{1}{k_{xt}} = \frac{1}{k_{jc}} + \frac{1}{k_{dj}} + \frac{1}{k_{jj}} + \frac{1}{k_g} \quad (5.13)$$

即工艺系统刚度的倒数等于系统各环节刚度的倒数之和。因此,当已知工艺系统的各个组成部分的刚度,即可求出系统刚度。用刚度一般式求解系统刚度时,应针对具体情况进行具体分析。例如外圆车削时,车刀本身在切削力作用下的沿切向(误差非敏感方向)的变形对加工误差的影响很小,可忽略不计;又如镗孔时,镗杆的受力变形严重地影响着加工精度,而工件(如箱体零件)的刚度一般较大,其受力变形很小,可忽略不计。

(2) 工件、刀具的刚度

当工件、刀具的形状比较简单时,其刚度可用材料力学的有关公式进行近似计算。例如装夹在卡盘中的棒料以及压紧在车床方刀架上的车刀刚度,可按悬臂梁受力变形的公式 $\delta_1 = \frac{F_p L^3}{3EI}$ 计算,

$$k_1 = \frac{F_p}{\delta_1} = \frac{3EI}{L^3} \quad (5.14)$$

又如支承在两顶尖间加工的棒料及支承在镗模支架上的镗刀杆,可用两点简支梁受力变形的公式 $\delta_2 = \frac{F_p L^3}{48EI}$ 计算,

$$k_2 = \frac{F_p}{\delta_2} = \frac{48EI}{L^3} \quad (5.15)$$

式中 L ——工件(刀具)长度(mm);

E ——材料的弹性模量(N/mm^2),对于钢 $E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;

I ——工件(刀具)的截面惯性矩(mm^4);

δ_1 ——外力作用在梁端点的最大位移(mm);

δ_2 ——外力作用在梁中点的最大位移(mm)。

(3) 机床部件、夹具部件的刚度

对于由若干个零件组成的机床部件及夹具,结构复杂,其受力变形与各零件间的接触刚度和部件刚度有关,很难用公式表达,其刚度目前主要用实验方法测定。图 5.28 为用实验方法测出的车床刀架部件的刚度曲线,其特点为:

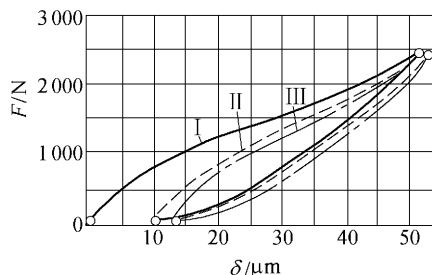


图 5.28 车床刀架部件静刚度曲线

① 刚度曲线不是直线,力和变形不成线性关系。这表明部件的变形不单纯是弹性变形。

② 加载与卸载曲线不重合。两曲线间的包容面积代表循环中消耗的能量,即消耗在零件间的接触变形、摩擦和塑性变形等所作的功。

③ 卸载后曲线不能回到原点。图 5.28 中第一次加载、卸载后变形不能回到原点,说明部件中存在间隙和残余变形。在反复加载、卸载后,接触状态才趋于稳定,残留变形接近于零。第三次加载、卸载曲线的原点才开始重合。

④ 部件的实际刚度比按实体结构的估计值小。由图 5.28 可知,载荷、变形曲线的斜率即表示刚度的大小,一般取第一次加载曲线两端点连线的斜率来表示其平均刚度,故刀架的刚度为 $K_{dj} = \frac{2\ 400}{0.052} \text{ N/mm} \approx 5 \times 10^4 \text{ N/mm}$ 。

可见所测刀架部件的刚度,远比同样大小整体零件的刚度低得多。

(4) 影响部件刚度的因素

机床部件由多个零件组成,结构复杂,零件之间存在着结合面、配合间隙和刚度薄弱环节等,影响机床部件的刚度。机床部件的受力变形过程首先是消除各有关零件之间的间隙,挤掉其间的油膜层,接着是部件中薄弱零件的变形,最后才是其他组成零件的弹性变形和相互接触面的接触变形。

1) 连接表面间的接触变形 零件表面都有一定的形状误差和表面粗糙度,零件间结合表面的实际接触面积只是理论接触面积的一小部分,真正接触的又只是一些表面粗糙度的凸峰,如图 5.29 所示。在外力作用下,这些接触点产生了较大的接触应力和变形,其中有表面层的弹性变形,也有局部的塑性变形。这就是部件刚度不呈直线,以及部件刚度远比同尺寸实体的刚度低的原因之一。接触表面的塑性变形还导致残余变形,经多次加载、卸载后才趋于稳定。

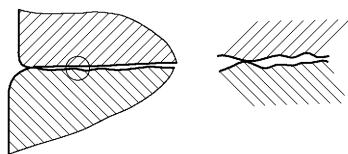


图 5.29 两零件结合面间的接触情况

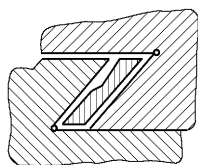


图 5.30 机床部件中刚度薄弱环节

2) 部件中薄弱零件的影响 如果部件中有某些刚度很低的零件时,受力后这些零件会首先产生很大的变形,使整个部件的刚度降低。如图 5.30 所示,由于床鞍部件中的楔铁薄而长,刚性差,不易加工平直,装配后接触不良,故在外力作用下最易变形,使部件刚度大大降低。

3) 间隙的影响 零件配合面间的间隙的影响,主要表现在载荷方向经常变化的镗床、铣床上。当载荷方向改变时,间隙引起位移,影响了刀具与零件表面间的正确位置。图 5.31 所示为间隙对部件刚度曲线的影响情况。如果载荷是单向的,加工时工件始终靠向一边,那么在第一次加载消除间隙后,对加工精度影响较小。

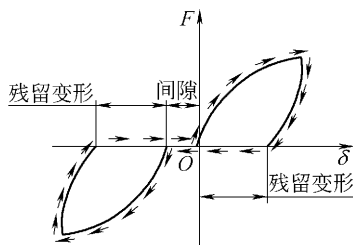


图 5.31 间隙对部件刚度曲线的影响

4) 摩擦力的影响 零件接触面间的摩擦力对接触刚度的影响在载荷变动

时较为显著。在加载时,摩擦力抵消一部分作用力,阻止变形的增加,而卸载时,摩擦力又阻止变形的恢复。因此,卸载曲线不与加载曲线相重合,如图 5.31 所示(表面间的塑性变形也是使加载和卸载曲线不重合的原因之一)。

(5) 机床部件刚度的测定

1) 单向静载测定法 是机床处于静止状态下,模拟切削时的主要作用力,对机床部件施加静载荷并测量其变形量,通过计算求出机床的静刚度。如图 5.32 所示,在车床顶尖间装一根刚性很大的短轴 2,在刀架上装一个螺旋加力器 5,其间装上测力环 4。当转动加力器的螺钉时,刀架与轴之间便产生作用力,力的大小由测力环中的百分表 7 读出(测力环预先在材力试验机上标定)。作用力一方面传到机床的刀架上,另一方面经过轴传到前后顶尖上。若螺旋加力器位于轴的中点,则主轴箱与尾座各受到 $F_p/2$ 的力的作用,而刀架受到总的作用力 F_p 。主轴箱(头架)、尾座和刀架的变形可分别从百分表 1、3 和 6 读出。在实验时,可连续进行加载,逐渐增大至某一最大值再逐渐减小。

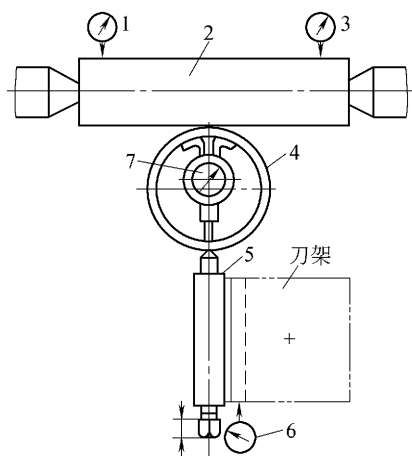


图 5.32 单向静载测定法

1、3、6、7—百分表 2—短轴 4—测力环 5—螺旋加力器

这种静刚度测定法,结构简单,容易进行,但与机床加工的受力状况出入较大,一般只用于比较机床部件刚度的高低。

2) 三向静载测定法 此法进一步模拟实际车削受力 F_c 、 F_p 、 F_f 的比值,从 x 、 y 及 z 三个方向加载,这样测定的刚度较接近实际。

图 5.33 所示为三向静载测定装置,在弓形加载器 5 上每隔 15° 有一个螺孔,依照实际加工时切削分力 F_p 和 F_f 的比例,把螺杆 4 旋入相应的螺孔。螺杆 4 与

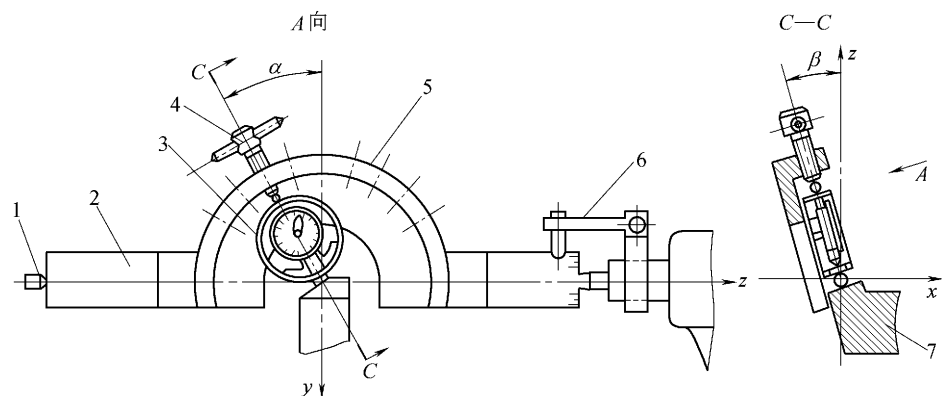


图 5.33 三向静载测定法

1—前顶尖 2—接长套筒 3—测力环 4—螺杆 5—弓形加载器 6—定位杆 7—模拟车刀

可转模拟车刀 7 之间放置测力环 3；再按照所模拟的 F_c 和 F_p 的比例，将测力装置旋转到相应的位置，然后连续施加载荷并由主轴箱（头架）、尾座及刀架上的三个百分表分别测出相应的变形量，绘制出各有关部件的刚度曲线，求出在一定载荷范围内的平均刚度。

2. 工艺系统的受力变形

（1）切削力作用点位置变化引起的加工误差

切削过程中，工艺系统的刚度会随切削力作用点位置的变化而变化，也使工艺系统受力变形随之变化，引起工件的加工误差。下面以在车床顶尖间加工光轴为例来说明这个问题。

1) 机床的变形 假定工件短而粗，同时车刀悬伸长度很短，即工件和刀具的刚度好，工件受力变形相对机床的变形要小得多，车刀在误差敏感方向上的变形也很小，可忽略不计。也就是说，工艺系统的变形主要取决于机床，即机床头架、尾座（含顶尖）和刀架的位移，如图 5.34a）所示。又假定工件的加工余量很均匀，并且由于机床变形而造成的背吃刀量（切削深度）变化对切削力的影响也很小，即假定在加工过程中切削力保持不变。

再设当车刀以径向切削力 F_p 进给到图 5.34a）所示的 z 位置时，车床主轴箱（头架）受作用力 F_A ，相应的变形 $\delta_{ij} = AA'$ ；尾座受力 F_B ，相应的变形 $\delta_{wz} = BB'$ ；刀架受力 F_p ，相应的变形 $\delta_{dj} = CC'$ 。这时工件轴心线 AB 位移到 $A'B'$ ，因而刀具切削点处工件轴线的位移 δ_z 为

$$\delta_z = \delta_{ij} + \delta' = \delta_{ij} + (\delta_{wz} - \delta_{ij}) \frac{z}{L}$$

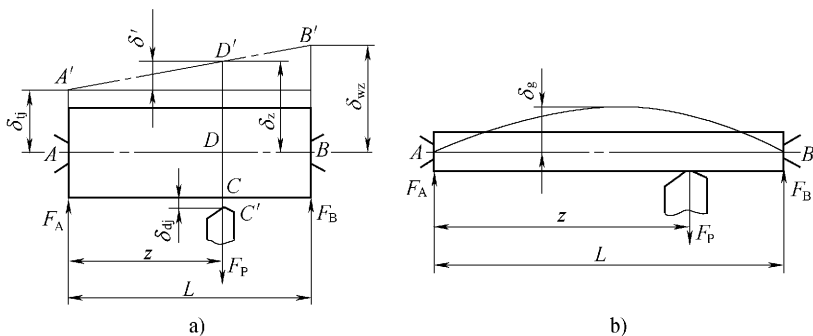


图 5.34 工艺系统变形随切削力作用点变化而变化

式中 L ——工件长度；

z ——车刀至头架的距离。

考虑到刀架的变形量 δ_{dj} 与工件轴线的变形量 δ_z 的方向相反,所以机床总的变形为

$$\delta_{jc} = \delta_z + \delta_{dj} \quad (5.16)$$

由刚度定义有

$$\delta_{tj} = \frac{F_A}{k_{tj}} = \frac{F_P}{k_{tj}} \left(\frac{L-z}{L} \right) \quad \delta_{wz} = \frac{F_B}{k_{wz}} = \frac{F_P}{k_{wz}} \frac{z}{L} \quad \delta_{dj} = \frac{F_P}{k_{dj}} \quad (5.17)$$

式中 k_{tj} 、 k_{wz} 、 k_{dj} ——分别为头架、尾座、刀架的刚度。

代入式(5.16),最后可得机床的总变形为

$$\delta_{jc} = F_P \left[\frac{1}{k_{tj}} \left(\frac{L-z}{L} \right)^2 + \frac{1}{k_{wz}} \left(\frac{z}{L} \right)^2 + \frac{1}{k_{dj}} \right] \quad (5.18)$$

这说明,随着切削力作用点位置的变化,工艺系统的变形是变化的。显然这是由于工艺系统的刚度随切削力作用点变化而变化所致。由式(5.18)可求出工艺系统刚度的倒数为:

$$\frac{1}{k_{xt}} = \frac{F_P}{\delta_{jc}} = \frac{1}{k_{tj}} \left(\frac{L-z}{L} \right)^2 + \frac{1}{k_{wz}} \left(\frac{z}{L} \right)^2 + \frac{1}{k_{dj}} \quad (5.19)$$

当 $X=L/2$ 时,工艺系统刚度的倒数为:

$$\frac{1}{k_{xt}} = \frac{F_P}{\delta_{jc}} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{k_{tj}} + \frac{1}{k_{wz}} \right) + \frac{1}{k_{dj}} \quad (5.20)$$

一般将这个公式称为机床的刚度公式。

由于工艺系统的变形是随着切削力作用点位置的变化而变化的, z 值的变化引起系统变形的变化,进而引起切削深度的变化,结果使工件产生形状误差。如设车床头架的刚度为 6×10^4 N/mm,尾座的刚度为 5×10^4 N/mm,刀架的刚度

为 $4 \times 10^4 \text{ N/mm}$,径向切削分力为 300 N ,工件长为 600 mm ,则沿工件长度上系统的位移量如表 5.1 所示。

表 5.1 沿工件长度上系统的位移量

z	0 (头架处)	$L/6$	$L/3$	$L/2$ (工件中点)	$2L/3$	$5L/6$	L (尾座处)
δ_{st}/mm	0.012 5	0.011 1	0.010 4	0.010 3	0.010 7	0.011 8	0.013 5

由于变形大的地方 ,从工件上切去的金属层薄 ,变形小的地方 ,切去的金属层厚 ,因此因机床受力变形而使加工出来的工件产生两端粗、中间细的马鞍形圆柱度误差 ,误差值为 $2 \times (0.013 5 - 0.010 3) = 0.006 4 \text{ mm}$ 。

2) 工件的变形 若在两顶尖间车削细长轴 ,由于工件细长 ,刚度小 ,在切削力作用下 ,其变形大大超过机床、夹具和刀具所产生的变形。因此机床、夹具和刀具的受力变形可略去不计 ,工艺系统刚度主要取决于工件的变形。如图 5.34b)所示 ,由材料力学中简支梁公式计算工件在切削点的变形量 $\delta_g = \frac{F_p(L-z)^2 z^2}{3EI}$ 。显然 ,当 $z=0$ 或 $z=L$ 时 $\delta_g=0$;当 $z=L/2$ 时 ,工件刚度最小、变形最大 :

$$\delta_{g\max} = \frac{F_p L^3}{48EI}$$

因此加工后的工件产生两端细、中间粗的腰鼓形圆柱度误差。

设工件尺寸为 $\phi 30 \text{ mm} \times 600 \text{ mm}$,钢的弹性模量 $E = 2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$,径向切削分力为 300 N ,则沿工件长度上的变形量如表 5.2 所示。

表 5.2 沿工件长度上的变形量

z	0 (头架处)	$L/6$	$L/3$	$L/2$ (工件中点)	$2L/3$	$5L/6$	L (尾座处)
δ_g/mm	0	0.052	0.132	0.17	0.132	0.052	0

故工件产生的腰鼓形圆柱度误差值为 $2 \times (0.17 - 0) \text{ mm} = 0.34 \text{ mm}$ 。

3) 工艺系统的总变形 当同时考虑机床和工件的变形时 ,工艺系统的总变形为二者的叠加。对于本例 ,车刀的变形可以忽略 ,故工艺系统的总变形为 :

$$\delta = \delta_{jc} + \delta_g = F_p \left[\frac{1}{k_{ij}} \left(\frac{L-z}{L} \right)^2 + \frac{1}{k_{wz}} \left(\frac{z}{L} \right)^2 + \frac{1}{k_{dj}} \right] + \frac{F_p(L-z)^2 z^2}{3EI}$$

不同类型的机床 ,由于切削力作用点的变化而引起刚度的变化形式各不相同 ,其造成的加工误差也有差别。例如立式车床、龙门刨床、龙门铣床等的横梁及刀架、铣床滑枕内的主轴等 ,其刚度均随刀架位置或滑枕伸出长度不同而异 ,

对它们的分析一般也可参照上例方法进行。

(2) 切削力大小变化引起的加工误差

在切削加工中,毛坯余量和材料硬度的不均匀,会引起切削力大小的变化。工艺系统由于受力大小的不同,变形的大小也相应发生变化,从而导致工件尺寸和几何形状误差。

图 5.35 所示为车削一个椭圆形横截面的毛坯。刀具调整到一定的背吃刀量(图中虚线圆的位置)。加工时,在工件每转一转中,背吃刀量在最大值 a_{p1} 与最小值 a_{p2} 中变化。假设毛坯材料的硬度是均匀的,那么 a_{p1} 处的切削力 F_{p1} 最大,相应的变形 δ_1 也最大, a_{p2} 处的切削力 F_{p2} 最小,相应的变形 δ_2 也最小。由此可见,当车削具有圆度误差 $\Delta_m = a_{p1} - a_{p2}$ 的毛坯时,由于工艺系统受力变形的变化而使工件产生相应的圆度误差 $\Delta_g = \delta_1 - \delta_2$ 。这种由于工艺系统受力变形的变化而使毛坯的形状误差复映到加工后工件表面的现象,称为“误差复映”。

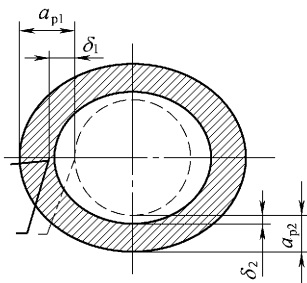


图 5.35 毛坯形状误差的复映

设工艺系统的刚度为 K_{xt} , 则工件的圆度误差

$$\Delta_g = \delta_1 - \delta_2 = \frac{1}{k_{xt}} (F_{p1} - F_{p2}) \quad (5.21)$$

由切削原理可知 $F_p = \lambda C_{F_c} a_p f^{0.75}$

式中 $\lambda = F_p / F_c$, 一般取 $\lambda = 0.4$;

C_{F_c} ——与工件材料、刀具几何参数及切削条件有关的系数;

a_p ——背吃刀量;

f ——进给量;

$$\text{所以 } \delta_1 = \frac{\lambda C_{F_c} a_{p1} f^{0.75}}{k_{xt}} \quad \delta_2 = \frac{\lambda C_{F_c} a_{p2} f^{0.75}}{k_{xt}}$$

代入式(5.21)得:

$$\Delta_g = \delta_1 - \delta_2 = \frac{\lambda C_{F_c} f^{0.75}}{k_{xt}} (a_{p1} - a_{p2}) = \frac{\lambda C_{F_c} f^{0.75}}{k_{xt}} \Delta_m \quad (5.22)$$

令 $\varepsilon = \Delta_g / \Delta_m$, 则

$$\varepsilon = \frac{\lambda C_{F_c} f^{0.75}}{k_{xt}} \quad (5.23)$$

ε 称为误差复映系数。由于 Δ_g 总是小于 Δ_m , 所以 ε 是一个小于 1 的正数。它定量地反映了毛坯误差经加工后所减小的程度。减小径向切削力或增大工艺系统刚度都能使 ε 减小。例如, 增大主偏角 κ_r , 减小进给量 f , 即可减小 ε , 提高加工精度。

当毛坯的误差较大, 一次走刀不能满足加工精度要求时, 需要多次走刀来消

除 Δ_m 复映到工件上的误差。

设 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 ... 分别为第一、第二、第三次.....走刀时的误差复映系数，

$$\Delta_{g1} = \varepsilon_1 \Delta_m$$

$$\Delta_{g2} = \varepsilon_2 \Delta_{g1} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \Delta_m$$

...

总的误差复映系数 $\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \dots$

由于工艺系统总有一定的刚度,误差复映系数 ε 总是远小于 1,经多次走刀后 ε_{Σ} 降至一个极小的数值。工件加工误差也逐渐降低到允许的范围内。这说明了为什么工件加工要多次走刀,经过粗、精加工才能达到较高加工精度的原因。

由以上分析可知,当工件毛坯有形状误差(如圆度、圆柱度、直线度误差等)或相互位置误差(如同轴度、平行度、垂直度误差等)时,加工后仍然会有类似的误差出现。在成批大量生产中用调整法加工一批工件时,若毛坯尺寸不一而导致加工余量不均匀,那么误差复映会造成加工后这批工件的尺寸分散。材料硬度不均匀,引起切削力的变化,同样会使工件的尺寸分散范围扩大,甚至超差而产生废品。

(3) 工艺系统中其他作用力引起的加工误差

1) 夹紧力的影响 工件在装夹时,由于刚度较低或夹紧力作用点不当,会使工件产生相应的变形,造成加工误差。如图 5.36 所示为用三爪自定心卡盘夹持薄壁套筒镗孔,假定坯件是正圆形,夹紧后坯件呈三棱形,虽镗出的孔为正圆形,但夹紧松开后,套筒的弹性恢复使孔又变成三棱形,如图 5.36e)所示。为了减少薄壁套筒的夹紧变形,应使夹紧力均匀分布,可采用开口过渡环,如图 5.36d)所示,或采用宽卡爪夹紧,如图 5.36e)所示。

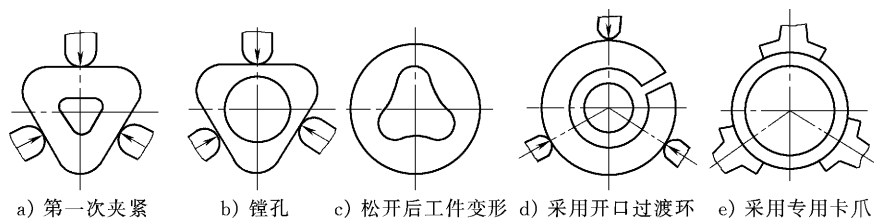


图 5.36 套筒夹紧变形的误差

又如磨削薄片零件,假定坯件翘曲,当它被电磁工作台吸紧时,产生弹性变形,磨削后取下工件,由于弹性恢复,使已磨平的表面又产生翘曲(如图 5.37 所示)。改进的办法是在工件和磁力吸盘之间垫入一层薄橡皮垫(0.5 mm 以下),

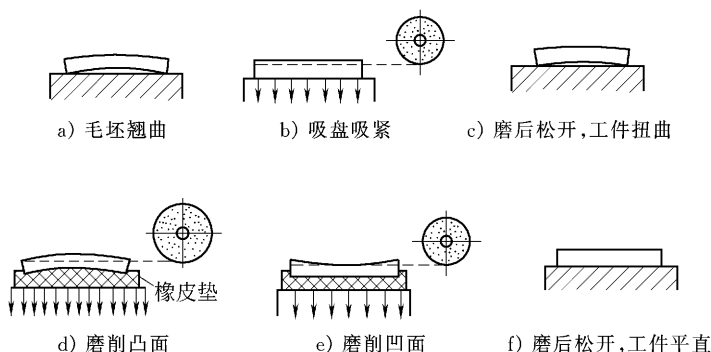


图 5.37 薄片工件的磨削

如图 5.38d)所示,当工作台吸紧工件时,橡皮垫受到不均匀的压缩,使工件变形减少,翘曲的部分就将被磨去。经过正、反面的多次磨削后,就可得到较平的平面。

2) 重力的影响 工艺系统中有关零部件自身的重力所引起的相应变形,如龙门铣床、龙门刨床刀架横梁,由于主轴箱或刀架的重力而产生变形,镗床的镗杆自重下垂变形,摇臂钻床的摇臂在主轴箱自重下的变形等都会造成加工误差。

如图 5.38 表示大型立车在刀架的自重下引起了横梁变形,造成了工件端面的平面度误差和外圆上的锥度。工件的直径愈大,加工误差也愈大。

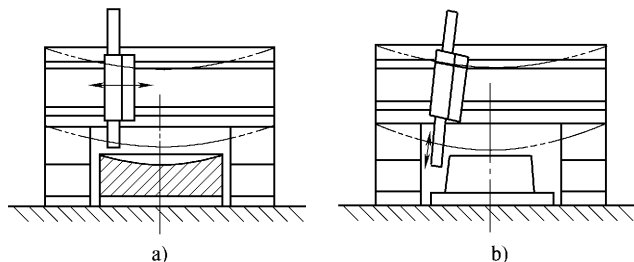


图 5.38 自重引起的加工误差

3) 惯性力的影响 在切削加工中,由于高速旋转零部件(包括夹具、工件和刀具等)的不平衡而产生离心力 F_Q ,在每一转中不断改变方向,使工艺系统的受力变形发生变化,从而引起加工误差。如图 5.39 所示,车削一个不平衡的工件,当离心力 F_Q 与切削力 F_p 方向相反时,将工件推向刀具,使背吃刀量增加,如图 a)所示;当离心力 F_Q 与切削力 F_p 同向时,工件被拉离刀具,使背吃刀量减小,如图 b)所示,结果造成工件的圆度误差。周期性的惯性力还常常引起工艺系统的

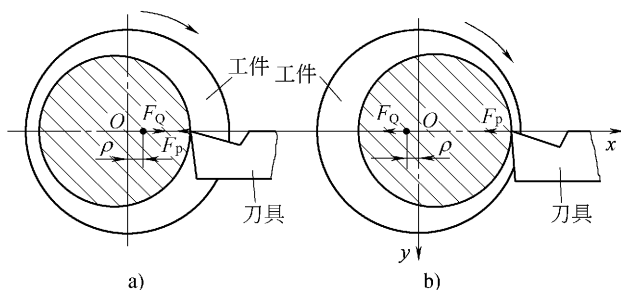


图 5.39 惯性力引起的加工误差

强迫振动,影响被加工零件的表面质量。

例如,当工件重力 W 为 100 N,主轴转速 n 为 1 000 r/min,不平衡质量 m 到旋转中心的距离 ρ 为 5 mm 时,离心力

$$F_Q = m\rho\omega^2 = \frac{W}{g}\rho\left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 = \frac{100}{9\,800} \times 5 \times \left(\frac{2 \times \pi \times 1\,000}{60}\right)^2 \text{ N} = 558.93 \text{ N}$$

设工艺系统的刚度为 3×10^4 N/mm,则工件半径上的加工误差为

$$\Delta_r = \delta_{\max} - \delta_{\min} = \frac{F_P + F_Q}{k_{xt}} - \frac{F_P - F_Q}{k_{xt}} = \frac{2F_Q}{k_{xt}} = \frac{2 \times 558.93}{3 \times 10^4} \text{ mm} = 0.037 \text{ mm}$$

4) 传动力的影响 在车床或磨床上加工轴类零件时,常用单爪拨盘带动工件旋转。如图 5.40 所示,在拨盘的每一转中,传动力的方向是变化的,有时与切削力同向,有时与切削力反向,造成与惯性力相似的加工误差。因此,精密零件的加工应采用双爪拨盘或柔性连接装置带动工件旋转。

(4) 减少工艺系统受力变形的措施

减少工艺系统的受力变形,是机械加工中保证产品质量和提高生产率的主要途径之一。根据生产实际情况,可采取以下几方面的措施。

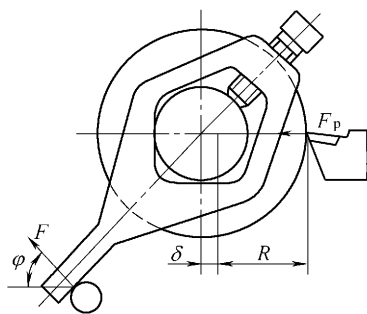


图 5.40 传动力产生的加工误差

1) 提高接触刚度 一般部件的刚度都是接触刚度低于实体零件的刚度。所以,提高接触刚度是提高工艺系统刚度的关键。常用的方法是改善工艺系统中主要零件接触面的配合质量,如机床导轨副、锥体与锥孔、顶尖与中心孔等配合面采用刮研与研磨,以提高配合表面的形状精度,减小表面粗糙度值,使实际接触面增加,从而有效地提高接触刚度。

提高接触刚度的另一措施是在接触面间预加载荷,这样可消除配合面间的间隙,增加实际接触面积,减少受力后的变形量。该措施常用在各类轴承的调整中。

2) 提高工件的刚度 在加工中,由于工件本身的刚度较低,特别是叉架类、细长轴类零件,容易变形。在这种情况下,提高工件的刚度是提高加工精度的关键。其主要措施是缩小切削力的作用点到支承之间的距离,以增大工件在切削时的刚度。图 5.41a)所示是车削较长工件时采用中心架增加支承,图 5.41b)是车细长轴时采用跟刀架增加支承,以提高工件的刚度。

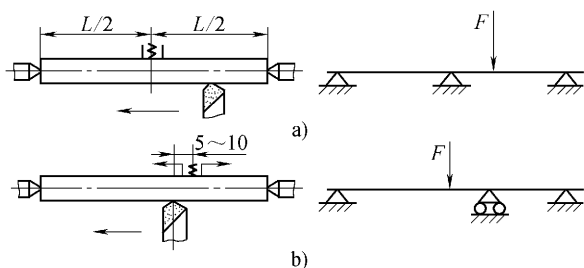


图 5.41 增加支承提高工件刚度

3) 提高机床部件的刚度 在切削加工中,有时由于机床部件刚度低而产生变形和振动,影响加工精度和生产率的提高,所以加工时常采用一些辅助装置来提高机床部件的刚度。图 5.42a)所示是在转塔车床上采用固定导向支承套,图 5.42b)所示是采用装在主轴孔内的转动导向支承套,并用加强杆与导向支承套配合以提高机床部件的刚度。

4) 合理的装夹方式和加工方式 加工刚度低的工件时,采用合理的装夹方式和加工方式以提高工件的刚度,改变夹紧力的方向、让夹紧力均匀分布等都是减少夹紧变形的有效措施。图 5.43 所示为在铣床上加工角铁零件,图 5.43b)所示的铣削方式的工艺系统刚度显然要比图 5.43a)的高。

5) 减小切削力及其变化 合理选择刀具的几何参数,增大前角和主偏角;合理选择刀具材料,对工件材料进行适当的热处理以改善材料的加工性能,都可使切削力减小。

切削力的变化将导致工艺系统的变形发生变化,加大工件加工尺寸的分散范围。应使一批工件的加工余量尽量均匀,工件的材质尽量均匀,就能使切削力的变动幅度控制在某一许可范围内。

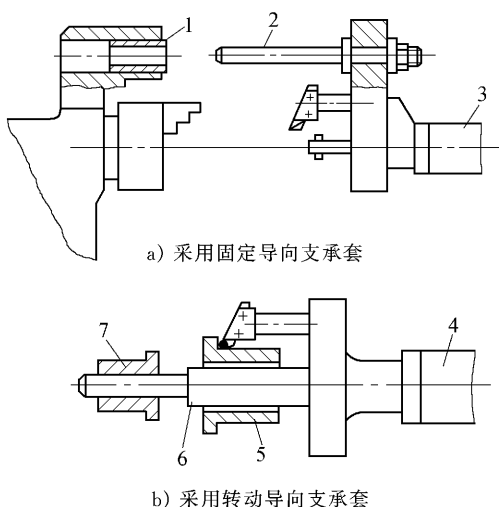


图 5.42 提高机床部件刚度的装置

1—固定导向支承套 2、6—加强杆 3、4—六角刀架 5—工件 7—转动导向支承套

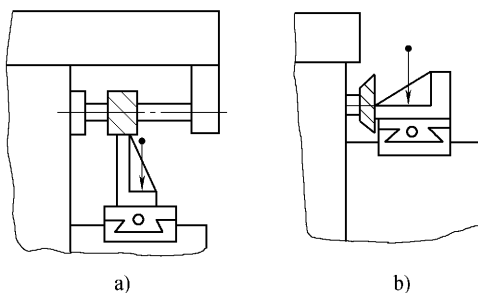


图 5.43 改变装夹与加工方式提高工艺系统刚度

5.3.2 工艺系统的热变形影响分析

在机械加工过程中,工艺系统会受到各种热的影响而产生变形,破坏了刀具与工件的相对位置关系,造成工件的加工误差。热变形对加工精度影响比较大,特别是在精密加工和大件加工中,热变形所引起的加工误差通常会占到工件加工总误差的40%~70%。

工艺系统热变形不仅影响加工精度,而且还影响加工效率。因为为减少受热变形对加工精度的影响,通常需要预热机床以获得热平衡,或降低切削用量以减少切削热和摩擦热,或粗加工后停机以待热量散发后再进行精加工,或增加加工

序(使粗、精加工分开)等。

1. 工艺系统的热源

引起工艺系统变形的热源可分为内部热源和外部热源两大类。内部热源包括切削热和摩擦热,外部热源包括环境热和各种辐射热。

切削热是切削加工过程中最主要的热源。它是在切削过程中,由切削层金属的弹性、塑性变形及刀具与工件、切屑间的摩擦所产生的。它由工件、切屑、刀具、夹具、机床、切削液以及周围介质传出。在车削加工中,切屑所带走的热量可达50%~80%,传给工件的热量约为30%,而传给刀具的热量一般不超过5%;对于铣削、刨削加工,传给工件的热量一般在总切削热的30%以下;对于钻削和卧式镗孔,因为大量切屑滞留孔中,传给工件的热量较多,如钻孔中传给工件的热量往往超过50%;磨削时磨屑很小,带走的热量很少(约为4%),大部分热量(84%左右)传入工件,致使磨削表面温度高达800~1000℃左右,因此磨削热既影响工件的加工精度,又影响工件的表面质量。

摩擦热主要是机床和液压系统中运动部件产生的,如电动机、轴承、齿轮、丝杠副、导轨副、离合器、液压泵、阀等各运动部分产生的摩擦热。摩擦热会引起局部温升和变形,破坏了系统原有的几何精度,对加工精度也会带来严重影响。

环境热与气温变化、通风、空气对流及周围环境等有关。辐射热是由阳光、照明、暖气设备等发出的热。外部热源对机床热变形的影响,有时也是不容忽视的,在大型、精密工件加工时特别要注意。

2. 工件热变形对加工精度的影响

工件产生热变形主要是由切削热引起的。对于精密或大型零件,周围环境温度 and 局部受到日光等外部热源的辐射热也不容忽视。不同的材料、不同的形状尺寸、不同的加工方法,工件的热变形也不相同。

在加工铜、铝等有色金属零件时,由于热膨胀系数大,其热变形尤为显著。

轴类零件在车削或磨削时,一般是均匀受热,温度逐渐升高,其直径逐渐增大,增大部分被刀具切去,待工件冷却后,则产生圆柱度及直径尺寸误差。

细长轴在顶尖间车削时,热变形将使工件伸长,导致工件的弯曲变形,使工件产生圆柱度误差。

精密丝杆磨削时,工件的受热伸长会引起螺距累积误差。若丝杠长度为2 m,每一次走刀磨削温度升高约3℃,则丝杠的伸长量 $\Delta L = \alpha L \Delta t = 1.17 \times 10^{-5} \times 2000 \times 3 \text{ mm} = 0.07 \text{ mm}$ (1.17×10^{-5} 为钢材的热膨胀系数)。而6级丝杠的螺距累积误差在全长上不允许超过0.02 mm,由此可见热变形的严重性。

床身导轨面的磨削,由于上下表面温差较大,将导致工件向上拱起,加工时中间凸起部分被多磨去,冷却后工件下凹,造成导轨直线度误差。

工件的热变形对粗加工的加工精度的影响一般可不必考虑,但在流水线、自动线以及工序集中的场合下,应给予足够的重视,否则粗加工的热变形将影响到精加工。为了避免工件热变形对加工精度的影响,在安排工艺过程时应尽可能地把粗、精加工分开,以使工件粗加工后有足够的时间冷却。

3. 刀具热变形对加工精度的影响

刀具热变形主要是由切削热引起的。通常传入刀具的热量并不太多,但由于热量集中在切削部分,刀头体积小,热容量小,故刀具切削部分的温度很高。例如高速钢刀具车削时,刀部的温度可达 $700 \sim 800^{\circ}\text{C}$,刀具热伸长量可达 $0.03 \sim 0.05 \text{ mm}$ 。因此对加工精度的影响不容忽视。

连续切削时,刀具的热变形在切削初始阶段增加很快,随后变得较缓慢,经过不长的时间后(约 $10 \sim 20 \text{ min}$)便趋于热平衡状态。此后,热变形变化量就非常小,如图 5.44 所示。

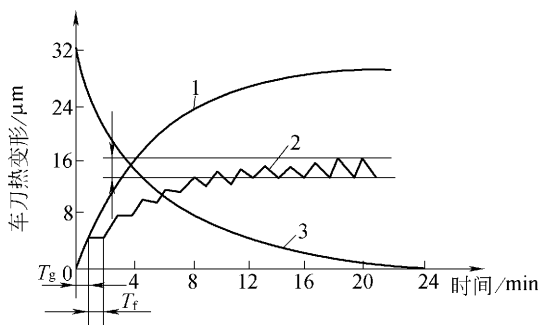


图 5.44 刀具热变形与切削时间的关系

1—连续切削 2—间断切削 3—冷却曲线

加工大型零件,刀具热变形往往造成几何形状误差。如车削长轴时,可能由于刀具热伸长而产生锥度(尾座处的直径比主轴箱附近的直径大)。

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

4. 机床热变形对加工精度的影响

机床在工作过程中,受到内外热源的影响,各部分的温度将逐渐升高。由于机床结构的复杂性,各部件的热源不同,分布不均匀,因此不仅各部件的温升不同,而且同一部件不同位置的温升也不相同,形成不均匀的温度场,使机床各部件之间的相互位置发生变化,破坏了机床原有的几何精度而造成加工误差。由于各类机床的结构和工作条件相差很大,所以引起机床热变形的热源和变形形式也各不相同。图 5.45 是几种机床在工作状态下热变形的趋势。

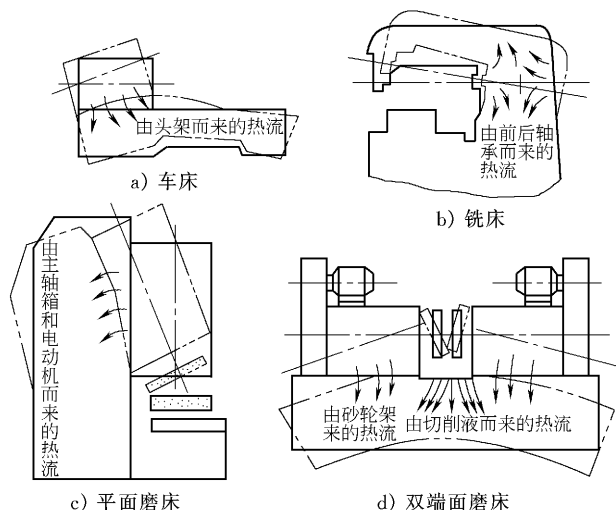


图 5.45 几种机床热变形的趋势

机床运转一段时间之后,各部件传入的热量和散失的热量基本相等而达到热平衡状态,变形趋于稳定。在机床达到热平衡状态之前,机床几何精度变化不定,对加工精度的影响也变化不定。因此,精密加工应在机床处于热平衡之后进行。一般机床,如车床、磨床等,其空运转的热平衡时间为4~6 h,中小型精密机床为1~2 h,大型精密机床往往要超过12 h。

机床类型不同,其内部主要热源也各不相同。车、铣、钻、镗类机床的主要热源是主轴箱的齿轮和轴承摩擦发热及润滑油发热,使主轴箱和床身(或立柱)的温度升高而产生变形和翘曲,从而造成主轴的位移和倾斜;磨床类机床的主要热源为砂轮主轴轴承和液压系统的发热,引起砂轮架位移、工作台架位移和导轨的变形。

龙门刨床、导轨磨床等长床身的大型机床,其导轨面与底面的温差,会使导轨面产生较大的弯曲变形,故床身热变形是影响加工精度的主要因素。

例如一台长12 m高0.8 m的导轨磨床床身,导轨面与床身底面温差 1°C 时,其中导轨面凸变形量为 $\Delta = \alpha \Delta T \frac{L^2}{8H} = 1.17 \times 10^{-5} \times 1 \times \frac{12^2}{8 \times 0.8} \text{ mm} = 0.26 \text{ mm}$ 。床身上下表面产生温差的原因,不仅是由于工作台运动时导轨面摩擦发热所致,环境温度的影响也是重要原因。

5. 减少工艺系统热变形对加工精度影响的措施

1) 减少发热和隔离热源 凡是可能分离出去的热源,如电动机、变速箱、液压系统、切削液系统等均应移出,使之成为独立单元。对于不能分离的热源,如

主轴轴承、丝杠螺母副、高速运动的导轨副等,则可从结构、润滑等方面改善其摩擦特性,减少发热。例如采用静压轴承、静压导轨,改用低粘度润滑油、锂基润滑脂,或使用循环润滑、油雾润滑等措施。

目前,大型数控机床、加工中心机床普遍采用冷冻机对润滑油切削液进行强制冷却,以提高冷却效果。精密丝杆磨床的母丝杠的中间通冷却液,以减少热变形。

2) 均衡温度场 图 5.46 所示为立式平面磨床采用热空气加热温升较低的立柱后壁,以均衡立柱前后壁的温升,减小立柱的向后倾斜。热空气从电机风扇排出,通过特设的管道引向立柱的后壁空间。采取这种措施后,磨削平面的平面度误差可降到未采取措施前的 $1/3 \sim 1/4$ 。

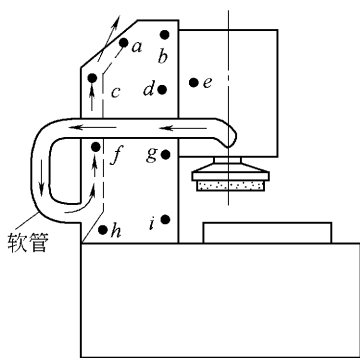


图 5.46 均衡立柱前后壁温度场

3) 加速达到热平衡状态 对于精密机床特别是大型机床,达到热平衡的时间较长。为了缩短这个时间,可以在加工前,使机床作高速空运转,或在机床的适当部位设置控制热源,人为地给机床加热,使机床较快地达到热平衡状态,然后进行加工。同样,精密机床应尽量避免较长时间的中途停车。

4) 控制环境温度 精密机床应安装在恒温车间,其恒温精度一般控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内,精密级为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。恒温室平均温度一般为 20°C ,冬季可取 17°C ,夏季取 23°C 。

5.3.3 工艺系统的内应力影响分析

内应力(或残余应力)是指外部载荷去除后,仍残存在工件内部的应力。零件中的内应力往往处于一种很不稳定的相对平衡状态,在常温下特别是在外界某种因素的影响下很容易失去原有状态,使内应力重新分布,零件产生相应的变形,从而破坏了原有的精度。因此,必须采取措施消除内应力对零件加工精度的影响。

内应力是由金属内部的相邻组织发生了不均匀的体积变化而产生的,体积变化的因素主要来自热加工或冷加工。

1. 毛坯制造中产生的内应力

在铸、锻、焊及热处理等热加工过程中,由于工件各部分热胀冷缩不均匀以及金相组织转变时的体积变化,使毛坯内部产生了相当大的残余应力。毛坯的结构越复杂,壁厚越不均匀,散热的条件差别越大,毛坯内部产生的内应力也越大。具有内应力的毛坯,内应力暂时处于相对平衡状态,变形是缓慢的,但当条

件变化后,就会打破这种平衡,内应力重新分布,工件就明显地出现变形。

图 5.47a)所示为一个内外截面厚薄不同的铸件在浇铸后的冷却过程中产生残余应力的情况。当铸件冷却时,由于壁 A 和 C 比较薄,散热较容易,所以冷却较快,壁 B 较厚,冷却较慢。当 A、C 从塑性状态冷却到弹性状态(约 620℃左右)时,壁 B 尚处于塑性状态,所以 A、C 继续收缩时 B 不起阻止变形的作用,故不会产生内应力。而当 B 亦冷却到弹性状态时, A、C 的温度已经降低很多,收缩速度变得很慢,但这时 B 收缩较快,因而受到了 A、C 的阻碍。这样 B 就受拉应力的作用,而 A、C 就受压应力的作用,形成了相互平衡的状态。

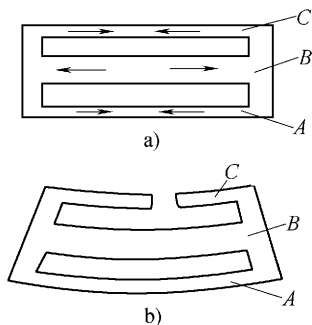


图 5.47 铸件内应力引起的变形

如果在铸件 C 处切开一个缺口,如图 5.47b)所示,则 C 的压应力消失。铸件在 B、A 的内应力作用下 B 收缩 A 伸长,铸件产生了弯曲变形,直至残余应力重新分布,达到新的平衡为止。推广到一般情况,各种铸件都难免由于冷却不均匀而形成残余应力。

2. 冷校直带来的内应力

丝杆一类的细长轴刚性差,在加工和使用过程中容易产生弯曲变形。弯曲的工件(原来无内应力)要校直,常采用冷校直。校直的方法是在弯曲的反方向加外力 F ,如图 5.48a)所示。在外力 F 的作用下,工件内部残余应力的分布如图 5.48b)所示,在轴线以上产生压应力(用负号表示),在轴线以下产生拉应力(用正号表示)。在轴线和两条双点划线之间是弹性变形区域,在双点划线之外是塑性变形区域。当外力 F 去除后,外层的塑性变形区域阻止内部弹性变形的恢复,使残余应力重新分布,如图 5.48c)所示。这时,冷校直虽能减小了弯曲,但工件却处于不稳定状态,如再次加工,又将产生新的变形。因此,高精度丝杠的加工,不允许冷校直,而是用多次人工时效来消除内应力。

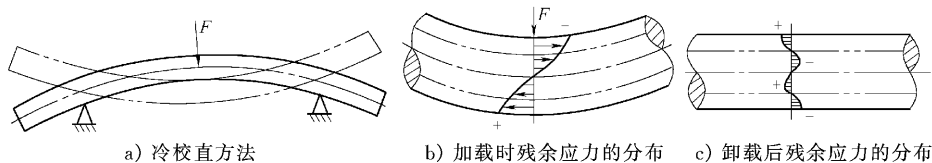


图 5.48 冷校直引起的残余应力

3. 切削加工中产生的内应力

工件在进行切削加工时,在切削力和摩擦力的作用下,使表层金属产生塑性

变形,体积膨胀,受到里层组织的阻碍,故表层产生压应力,里层产生拉应力。

此外,切削热也会使工件产生内应力。金属在切削时,若表层温度超过弹性变形范围,则会产生热塑性变形,切削后,表层温度下降快,冷却收缩也比里层大,当温度降至弹性变形范围内,表层收缩受到里层的阻碍,因而产生拉应力,里层将产生平衡的压应力。

在大多数情况下,热的作用大于力的作用。特别是高速切削、强力切削、磨削等,热的作用占主要地位。磨削加工中,表层拉力严重时会产生裂纹。

4. 减少或消除残余应力的措施

(1) 合理设计零件结构 在机器零件的结构设计中,应尽量简化结构,使壁厚均匀,结构对称,以减少内应力的产生。

(2) 合理安排热处理和时效处理 对铸、锻、焊接件进行退火、回火及时效处理,零件淬火后进行回火,对精密零件,如丝杠、精密主轴等,应多次安排时效处理。常用的时效处理方法有自然时效、人工时效及振动时效。

自然时效:是把毛坯或经粗加工后的工件置于露天下,利用温度的自然变化,经过多次热胀冷缩,使工件的内应力逐渐消除。这种方法效果好,但所需时间长。

人工时效:是将工件放在炉内加热到一定温度,再随炉冷却以消除内应力。人工时效分高温时效和低温时效。低温时效效果好,但时间长。

振动时效:让工件受到激振器或振动台的振动,或装入滚筒在滚筒旋转时相互撞击。这种方法节省能源,简便高效,适用于中小零件及有色金属件等。

(3) 合理安排工艺过程 粗、精加工宜分阶段进行,使粗加工后有一定时间让内应力重新分布,以减少对精加工的影响。

5.3.4 机械加工中的振动

机械加工过程中,在工件和刀具之间常常发生振动。产生振动时,工艺系统的正常切削过程便受到干扰和破坏,从而使零件加工表面出现振纹,影响零件的表面质量和使用性能。强烈的振动会使切削过程无法进行,甚至造成刀具“崩刀”。为此,常不得不降低切削用量,致使机床、刀具的工作性能得不到充分的发挥,限制了生产率的提高。振动还影响刀具的耐用度和机床的寿命,还会发出刺耳的噪声,恶化工作环境,影响工人的身心健康。

机械加工过程中产生的振动,有自由振动、强迫振动和自激振动三种类型。其中自由振动所占的比例很小,且一般可迅速衰减,对机械加工过程影响不大,这里不予讨论。下面对其他两种振动进行简单的分析。

1. 机械加工中的强迫振动

机械加工中的强迫振动,是一种在工艺系统内部或外部周期性的干扰力

(激振力)作用下引起的振动。

(1) 强迫振动产生的原因

内部振源:机床高速旋转零件(电动机转子、砂轮、皮带轮、旋转轴等)不平衡引起的振动;机床传动机构缺陷(齿轮啮合、滚动轴承、液压脉冲等)引起的振动;断续切削(铣削、车削带有键槽的外圆表面等)的冲击引起的振动;往复运动部件的惯性力引起的振动等。

外部振源:由其他机床(冲压设备、刨床等)、打桩机、火车等通过地基传来的振动。

(2) 强迫振动的主要特点

1) 强迫振动是在外界周期性干扰力作用下产生的,振动本身并不能引起干扰力的变化。当干扰力停止时,则工艺系统的振动也随之停止。

2) 不管工艺系统本身的固有频率如何,强迫振动的频率总是等于外界干扰力的频率或其整数倍。

3) 强迫振动的振幅大小与外界干扰力的大小、系统的刚度及阻尼系数有关,干扰力越大,系统刚度及阻尼系数越小,振幅就越大,振幅大小在很大程度上取决于干扰力与系统固有频率的比值 λ 。当 λ 等于或接近于1时,振幅最大,即通称为“共振”。

(3) 减少强迫振动的措施和途径

1) 减小或消除激振力 如精确平衡电动机和各回转零部件(动、静平衡),提高机床传动稳定性(调整轴承、齿轮等)。

2) 提高工艺系统的刚度及增大阻尼。

3) 调整振源频率 可通过改变电机转速或传动比,使激振力的频率远离机床的固有频率,以避免共振。

4) 隔振 将机床安置在防振地基上,在振源与刀具、工件间设置弹簧或橡皮垫片等。

5) 采用减振器和阻尼器 如图 5.57、图 5.58、图 5.59、图 5.60 所示。

2. 机械加工中的自激振动

(1) 自激振动的概念

切削加工时,在没有周期性外力作用的情况下,刀具与工件之间也可能产生强烈的相对振动,并在工件的加工表面上留下明显的、有规律的振纹。这种由系统本身产生和维持的振动称为自激振动。

下面以图 5.49 所示电铃的工作原理来模拟说明切削过程中出现的自激振动现象。当压下按钮 2 时,电流通过 3-7-5 及电池 1 构成回路,电磁铁产生磁力吸引衔铁 4,从而带动小锤敲击铃 6。当弹簧片 7 被吸引后,触点 3 处断电,电磁铁失去磁性,小锤靠弹簧片复位,电路又接通,如此循环而形成振动。电铃的

自激振动系统如图 5.50 所示,弹簧片 7 和小锤组成振动元件,衔铁 4、电磁铁 5 和电路组成调节元件并产生交变力,交变力使振动元件产生振动、位移,又对调节元件产生反馈作用,以便再次产生交变力。小锤敲击电铃的频率是由弹簧片、小锤、衔铁本身的参数(刚度、质量、阻尼)所决定的,阻尼及运动摩擦所消耗的能量由本身的电池供应。振动过程不存在任何外界周期性的振源,其频率又相当于系统的固有频率,因此它是区别于强迫振动的自激振动。

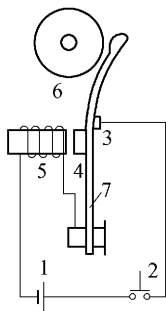


图 5.49 电铃的工作原理

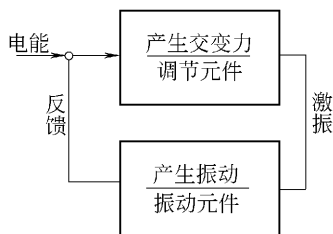


图 5.50 电铃的自激振动系统

金属切削过程中自激振动的原理如图 5.51 所示。它也具有两个基本部分:切削过程产生交变力 ΔF ,激励工艺系统;工艺系统产生振动位移 δ ,再反馈给切削过程。维持振动的能量来源于机床的能源。

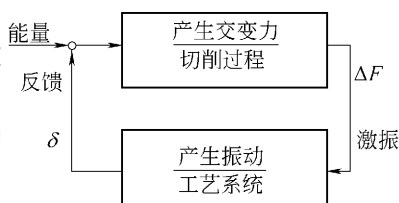


图 5.51 机床自激振动系统

(2) 自激振动的特点

1) 自激振动所需的交变力是由振动过程本身产生和控制的,切削运动一停止,交变力随即停止,自激振动也停止了。因此可以通过改变切削过程中有影响的工艺参数来限制自激振动。

2) 自激振动的频率等于或接近于系统的固有频率。

3) 自激振动能否产生以及振幅的大小,取决于每一振动周期内系统所获得的能量与所消耗的能量比值。当获得的能量 E^+ 大于消耗的能量 E^- 时,振幅加大;当 E^+ 等于 E^- 时,振幅稳定;当 E^+ 小于 E^- 时,振幅衰减。此外,振幅的大小还与系统的刚度及阻尼系数有关,系统刚度及阻尼系数越小,振幅就越大。

(3) 自激振动的激振机理

切削过程中产生自激振动的激振原因非常复杂,有许多不同的学说,主要有再生理论和振型耦合理论。

1) 再生原理 切削和磨削过程中,后一次走刀和前一次走刀的切削区会有

重叠的部分,图 5.52 为磨削外圆,设砂轮宽度为 B ,工件每转进给量为 f ,工件相邻两转重叠部分的大小用重叠系数 μ 表示,则有 $\mu = (B - f)/B$ 。前后走刀完全重叠时(如切断) $\mu = 1$;无重叠时(如车螺纹) $\mu = 0$;一般情况下 $0 < \mu < 1$ 。

如果工件在前一转切削中,由于偶然的振动(材料硬质不均、加工余量不均或其他原因的冲击),在工件的加工表面上留下了振纹。切削第二转时,因重叠部分的振纹使切削深度发生变化,从而引起切削力的周期性变化,产生再生自激振动。

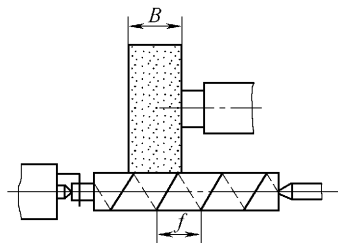


图 5.52 磨削时重叠切削示意图

图 5.53 表示再生自激振动产生的原理。图中 y_0 表示前一转切削的工件表面(实线), y 表示后一转切削的工件表面(虚线)。图 a) 中,由于前后两转切削所产生的振纹 y_0 和 y 相位相同(相位角 $\phi = 0$),切削深度 a_p 在一个振动周期内相同,切削力基本不变,故再生自激振动就不会发生。图 b) 中,由于 y 比 y_0 滞后一个相位角 ϕ ,刀具切出工件的半个周期时的平均深度大于切入工件的半个周期时的平均深度,故在一个振动周期内,切削力所作的正功大于负功,即系统便有多余的能量输入到振动系统,使振动得以维持和加强。图 c) 中,由于 y 比 y_0 超前一个相位角 ϕ ,刀具切出时的平均深度小于切入时的平均深度,故在一个振动周期内,切削力所作的负功大于正功,即系统消耗于阻尼的能量大于它所获得的能量,因此,再生自激振动亦不会发生。所以,后一转振纹在相位上滞后于前一转振纹,是再生自激振动的必要条件。

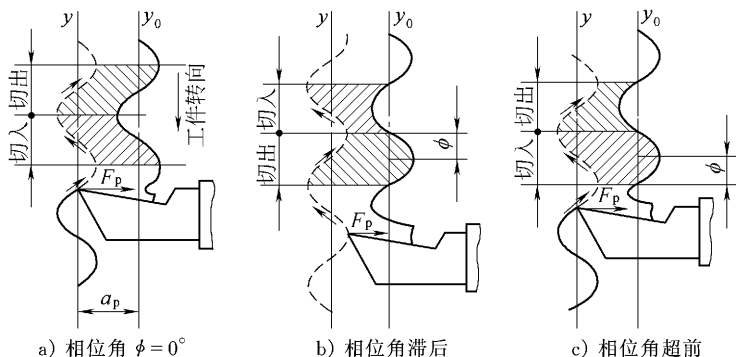


图 5.53 再生自激振动示意图

2) 振型耦合原理 振型耦合原理又称坐标联系原理。它用于说明多自由度系统的自激振动现象。图 5.54 是具有两个自由度振动的力学模型。假设工

件为绝对刚体,主振系统是刀具部件,其质量为 m ,由相互垂直的、刚度分别为 k_1 、 k_2 的两组弹簧支持着,弹簧的方向表示系统的两个自由度方向。设 k_1 与 x 轴(加工表面的法向)成 α 角度;切削力 F 与 x 轴的夹角为 β 。如果系统在切削中产生了振动,则质量 m 同时在 k_1 、 k_2 两个方向上以不同的振幅和相位进行振动,合成运动的轨迹是一个顺时针方向的椭圆。前半周刀尖从 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 作切入运动,平均切深较小,切削力较小;后半周刀尖从 $C \rightarrow D \rightarrow A$ 作切出运动,平均切深较大,切削力较大。因此在一个振动周期内,

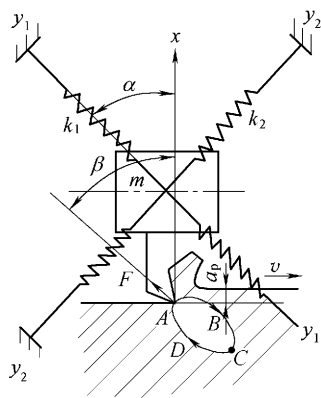


图 5.54 振型耦合自激振动原理

切出时切削力 F 对刀具部件所作的正功大于切入时切削力 F 对刀具部件所作的负功,系统就有多余的能量以增大振幅,直到获得的能量和消耗在阻尼的能量平衡为止,此时,振动便以一定的振幅持续下去。系统的自激振动与系统的参数 k_1 、 k_2 、 α 、 β 有关,当 $k_1 < k_2$ 、 $0^\circ < \alpha < \beta$ 时,系统最易产生自激振动。

(4) 控制自激振动的途径

由上所述,自激振动既与切削过程本身有关,又与工艺系统的结构参数有关,因此可以从工艺角度出发,采用一些措施来控制自激振动。

1) 合理选择切削用量 当切削速度为中速($v = 20 \sim 60 \text{ m/min}$)时,振幅 A 较大,最易产生振动。所以选择高速切削,可避免自激振动,又能提高生产率及降低表面粗糙度值。增大进给量可使振幅 A 减小,因此在加工表面粗糙度允许下,选择较大的进给量以避免自激振动。随着背吃刀量 a_p 的增大,切削宽度亦增大,振幅 A 也不断增大,由于切削宽度对振动影响较大,所以应选择较小的背吃刀量。

2) 合理选择刀具的几何参数 前角 γ_o 对振动影响较大,随着 γ_o 增大,振幅 A 随之下降。但在切削速度较高时,前角对振动的影响将减弱,故高速切削时用负前角也不致产生强烈的振动。主偏角 κ_y 增大时,背向切削力将减小,切削宽度也减小,振幅将逐渐减小。当 $\kappa_y = 90^\circ$ 时,振幅最小。当后角 α_o 减小到 $2^\circ \sim 3^\circ$ 时,振动有明显的减弱。但后角不能太小,以免后刀面与加工表面之间发生摩擦,反而引起振动。通常在刀具主后面上磨出一段负倒棱,能起到很好的消振作用。刀尖圆弧半径 γ_e 增大时,背向切削力随之增大,因此为减小振动,应选择较小的圆弧半径。

3) 合理调整振型的刚度比和方位角 根据振型耦合原理,只要适当调整刚度 k_1 、 k_2 的比值和选择方位角 α ,就可以有效地提高系统的抗振性,抑制自激振

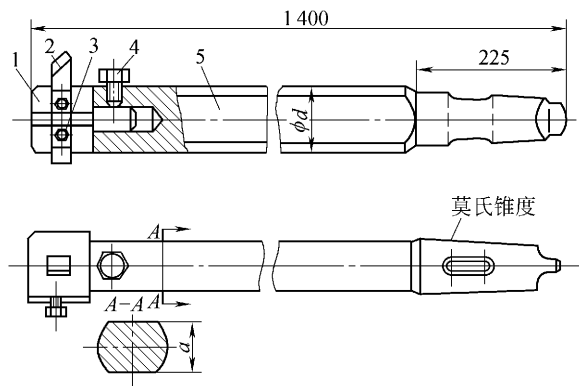


图 5.55 削扁镗杆

1—刀头 2—镗刀 3、4—螺钉 5—镗杆

动。如采用图 5.55 所示的削扁镗杆进行镗孔实验,镗杆 5 直径为 d ,其削扁部分的厚度为 $0.6 \sim 0.8 d$,形成两个互相垂直的具有不同刚度 k_1 和 k_2 的自由度方向,镗刀 2 装在刀头 1 的方孔中并用两个螺钉 3 锁紧,刀头再用螺钉 4 固定在镗杆 5 的任意角度位置上,根据需要可以转位来调整其方位角 α ,以消除自激振动,保证镗孔质量。图 5.56 为削扁镗杆镗孔示意图,通过实验证明,当 $0^\circ < \alpha < 60^\circ$ 时镗孔,系统最不稳定,产生强烈的自激振动;当 $110^\circ < \alpha < 150^\circ$ 时,系统最稳定,不会出现自激振动。

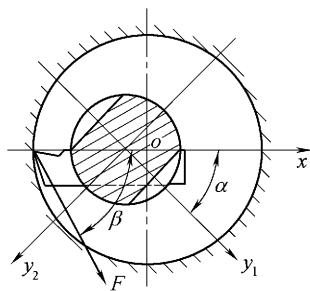


图 5.56 削扁镗杆镗孔示意图

4) 提高工艺系统的抗振性 可用刮研连接表面、增强连接刚度等方法提高机床零部件之间的接触刚度和接触阻尼。使用高弹性模数、高阻尼系数的硬质合金刀杆,以增加刀具的抗振性。采用中心架、跟刀架等安装方法以提高工件的抗振性。

5) 采用减振装置 如果不能从根本上消除产生切削振动的条件,为保证必要的加工质量和生产率,可以采用消振减振装置。减振装置有阻尼器和吸振器两类。

阻尼器:它通过阻尼作用,将振动能量转换成热能散失掉,以达到减振目的。阻尼越大,减振效果越好。常用的有固体摩擦阻尼器、液体摩擦阻尼器和电磁阻尼器等。图 5.57 是装在车床跟刀架 6 上使用的干摩擦阻尼器,利用多层弹簧片 5 相互摩擦来消耗振动能量。图 5.58 是液压阻尼器,当柱塞随工件振动时,将油液从油缸前腔经小孔压向油缸后腔,通过小孔的阻尼来减振。

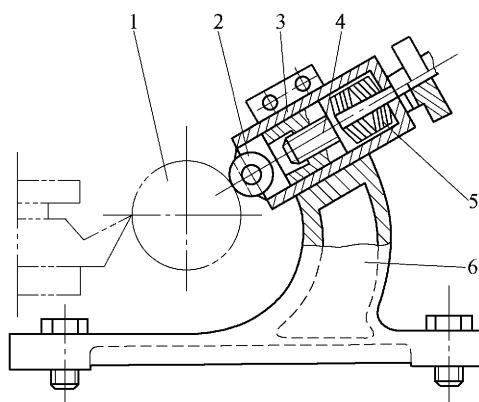


图 5.57 干摩擦阻尼器

1—工件 2—触头 3—壳体 4—调节杆 5—多层弹簧片 6—跟刀架

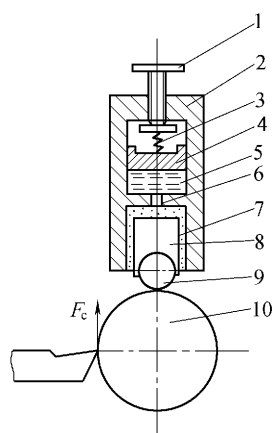


图 5.58 液压阻尼器

1—调节杆 2—壳体 3—弹簧 4—活塞 5—油缸后腔 6—小孔
7—油缸前腔 8—柱塞 9—触头 10—工件

吸振器 吸振器有动力式和冲击式两种。动力式吸振器通过弹性元件把一个附加质量连接到振动系统上,这个附加质量在振动系统激励下也发生振动。利用附加质量的动力作用与系统的激振力相抵消,以减弱振动。图 5.59 所示为用于镗刀杆的动力式吸振器。它是用微孔橡皮衬垫 2 作弹性元件,并有阻尼作用,因而能获得较好的消振作用。冲击式吸振器是由一个自由冲击的质量和壳体组成。当系统振动时,由于自由质量的往复运动,产生冲击吸收能量,从而减小振动。图 5.60 所示为镗孔用的冲击式吸振器。镗杆 1 内固定镗刀头 2,镗杆

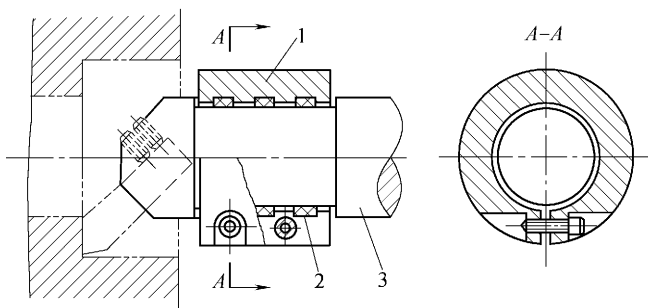


图 5.59 用于镗杆的吸振器

1—附加质量 2—微孔橡皮衬垫 3—镗杆

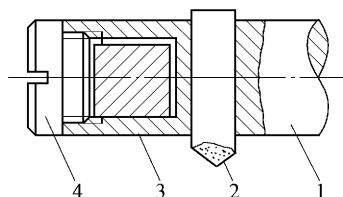


图 5.60 镗杆上用的冲击吸振器

1—镗杆 2—镗刀头 3—冲击块 4—螺塞

端部孔中放置冲击块 3 ,并用螺塞 4 封住 ,冲击块与端部孔径向保持 0.01 ~ 0.20 mm 间隙 ,当镗杆发生振动时 ,冲击块将不断撞击镗杆吸收振动能量 ,达到消振的目的。

5.4 提高加工质量的途径

5.4.1 提高加工精度的途径

1. 直接减少或消除误差法

这是生产中应用较广的提高加工精度的一种基本方法 ,是在查明产生加工误差的主要因素后 ,设法对其直接进行消除或减少。例如细长轴的车削 ,可利用辅助支承来提高工件的刚度。如用中心架 ,可缩短支承点间的距离一半 ,提高工件刚度近 8 倍 ,如用跟刀架 ,可进一步缩短切削力作用点与支承点的距离 ,工件刚度更为提高。采用大主偏角车刀 ,后弹簧活动顶尖 ,反向大进给量切削 ,可消除切削力、热变形引起的弯曲变形 ,提高细长轴的加工精度。

2. 误差转移法

误差转移法就是转移工艺系统的几何误差、受力变形和热变形等。当机床精度达不到零件加工要求时,常常不是一味地提高机床精度,而是在工艺上或夹具上想办法,创造条件,使机床的几何误差转移到不影响加工精度的方面去。如磨削主轴锥孔时,锥孔与轴颈的同轴度,不靠机床主轴的回转精度来保证,而是靠专用夹具的精度来保证,机床主轴与工件主轴之间用浮动连接,机床主轴的回转误差就转移了,不再影响加工精度。

又如六角转塔车床的转塔刀架在工作时需经常旋转,要长期保持它的转位精度比较困难。若如图 5.61a)所示安装外圆车刀,则刀架的转位误差方向与加工误差敏感方向一致,刀架转角误差将直接影响加工精度,若如图 5.61b)所示采用“立刀”安装法,即把刀刃的切削基面放在垂直平面内,这样就能把刀架的转位误差转移到误差的非敏感方向上去,由刀架转位误差所引起的加工误差就可忽略不计。

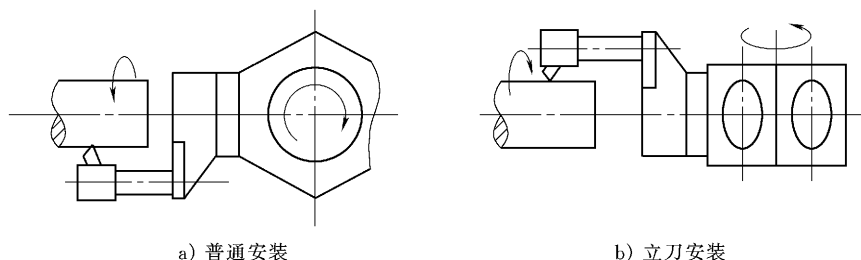


图 5.61 转塔车床刀架转位误差的转移

3. 误差分组法

在加工中,对于毛坯误差、定位误差而引起的工序误差,可采取分组的方法来减少其影响。方法是将毛坯或定位基准面按误差大小分为 n 组,每组毛坯或定位面的误差就缩小为原来的 $1/n$;然后按各组分别调整刀具与工件的相对位置或选用合适的定位元件,就可大大缩小整批工件的加工尺寸分散范围。这种方法比起一味提高毛坯或定位基准的精度要经济得多。例如某厂采用心轴装夹工件剃齿,由于配合间隙太大,剃齿后工件齿圈径向跳动超差。为不用提高齿坯加工精度而减少配合间隙,采用误差分组法,将工件内孔尺寸按大小分成 4 组,分别与相应的 4 根心轴之一相配合,保证了剃齿的加工精度要求。

4. 误差补偿法

误差补偿法是人为地造出一种大小相等方向相反的误差,去抵消或补偿工艺系统中原有的误差,从而达到减少加工误差,提高加工精度的目的。

例如精密螺纹、精密齿轮加工时机床传动链误差将直接反映到工件的螺距、齿距上,使加工精度受到一定影响,采用校正机构可以消除传动链造成的误差,如图 5.13 所示。

又如磨床床身为一个狭长结构,刚度比较差。虽在加工时床身导轨精度能够达到,但在装上横向进给机构、操纵箱等后,往往因为这些部件的自重引起床身变形。为此,可采用预加载荷的方法精加工床身导轨。即在加工导轨时用“配重”代替部件重量,或先将部件装配好再加工的方法(图 5.62),使加工、装配、使用条件一致,就可使导轨长期保持较高的精度。

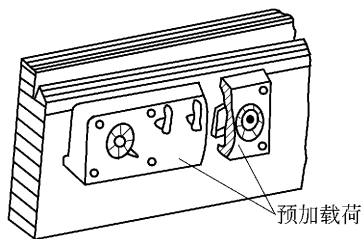


图 5.62 磨床床身导轨磨削时预加载荷

5. 就地加工法

在机械加工和装配中,有些精度问题牵涉到很多零部件的相互关系,如果单纯依靠提高零部件的精度来满足设计要求,有时不仅困难,甚至不可能达到。而采用就地加工法就可以解决这种难题。

例如在转塔车床中,转塔上六个安装刀具的孔,其轴心线必须与机床主轴回转中心线重合,且六个端面又必须与回转中心垂直。实际生产中采用了就地加工法,转塔上的孔和端面经半精加工后装配到机床上,再在自身机床主轴上安装镗刀架对这些孔和端面进行精加工,便能方便地达到所需的精度。

这种就地加工方法,在机床生产中应用很多。为了使牛头刨床的工作台面与滑枕保持平行的位置关系,就在装配后的自身机床上进行“自刨自”的精加工。平面磨床的工作台面也是在装配后作“自磨自”的精加工。在车床上,为了保证三爪卡盘卡爪的装夹面与主轴回转中心同轴,也是在装配后对卡爪装夹面进行就地车削或磨削的。

6. 误差平均法

对配合精度要求很高的轴和孔,常采用研磨的方法来达到。研具本身的精度并不高,分布在研具上的磨料粒度大小也可能不一样,但由于研磨时工件与研具间作复杂的相对运动,使工件上各点均有机会与研具的各点相互接触并受到均匀的微量切削。同时工件和研具相互修整,精度也逐步共同提高。这种表面间相对研磨的过程,也就是误差相互比较和相互消除的过程,称为误差平均法。

又如三块一组的精密标准平板,就是利用三块平板相互对研、配刮的方法加工的。因为三块平板要能够分别两两密合,只有在都是精确平面的条件下才有可能。此时误差平均法是通过相互对研、配刮加工使被加工表面原有的平面度误差不断缩小而使误差均化的。

7. 控制误差法

控制误差法是在加工循环中,利用测量装置连续地测量出工件的实际尺寸精度,随时给刀具以附加的补偿量,控制刀具和工件间的相对位置,直至实际值与调定值的差不超过预定的公差为止。现代机械加工中的自动测量和自动补偿

就属于这种形式。

柴油机高压燃油泵柱塞副是一对很精密的偶件。柱塞和柱塞套本身的形状精度要求在 0.0005 mm 以内,轴与孔的配合间隙为 $0.0015 \sim 0.003\text{ mm}$ 。以往生产中采用放大尺寸公差,然后再分组选配和互研来达到配合要求。现在应用自动配磨装置(图 5.63)进行加工,它以自动测量出的柱塞套孔径为基准去控制柱塞外径的磨削。这种装置除了能连续测量工件尺寸和自动操纵机床的动作外,还能按照偶件预先规定的间隙,自动决定磨削的进给量,在粗磨到一定尺寸后能自动变换为精磨,达到尺寸精度后便自动停机。当测孔仪和测轴仪进行测量时,将测头的机械位移信号输入电器控制部分,经过各种参数的转换、放大,然后发出控制磨床动作的指示和信号。

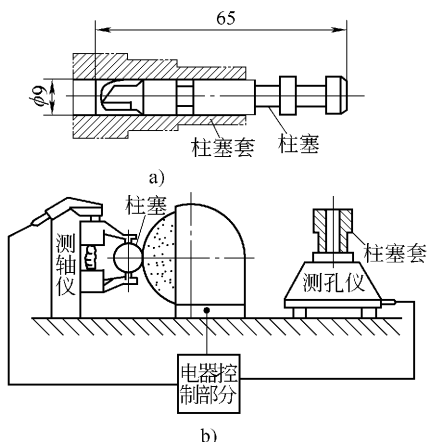


图 5.63 高压油泵柱塞副偶件自动配磨示意图

5.4.2 提高表面质量的途径

1. 减小表面粗糙度值的工艺措施

在切削加工中,表面粗糙度主要取决于残留面积的高度。为此,应采取增大刀尖圆弧半径,减小主偏角、副偏角,采用主偏角为零的修光刃刀具等措施。减小进给量也能有效地减小残留面积,但会使生产率降低。

切削加工中产生的积屑瘤、鳞刺是影响加工表面粗糙度的物理因素。为有效地抑制积屑瘤和鳞刺,应采用较高或较低的切削速度,增大前角,适当加大后角,合理选用切削液,必要时对工件进行正火、调质等热处理。

在磨削加工中,加工表面是由砂轮上的微刃(磨粒)切削、刻划、滑擦、挤压出的微细刻痕所组成的,且磨削速度很高,磨削区温度很高,磨削过程的塑性变形比一般切削过程大得多。因此应适当地选择砂轮的粒度、硬度、组织和材料,

并仔细修整砂轮,保持微刃的等高性。为减小表面粗糙度值,应提高砂轮转速,减小工件转速、进给量,减小磨削深度,增加无径向进给磨削(光磨)次数。

2. 减小残余拉应力、防止表面烧伤和裂纹的工艺措施

对零件使用性能危害甚大的残余拉应力、表面烧伤和裂纹的主要原因是磨削区的温度过高。为降低磨削热可以从减少磨削热的产生和加速磨削热的传出两途径入手。

(1) 选择合理的磨削用量

根据磨削机理,磨削深度的增大会使表面温度升高,砂轮速度和工件转速的增大也会使表面温度升高,但影响程度不如磨削深度大。为了直接减少磨削热的产生,降低磨削区的温度,应合理选择磨削参数:减少背吃刀量,适当提高进给量和工件转速。但这会使表面粗糙度值增大,为弥补这一缺陷,可以相应提高砂轮转速。实践证明,同时提高砂轮转速和工件转速,可以避免烧伤。

(2) 选择有效的冷却方法

磨削时由于砂轮高速旋转而产生强大的气流,使切削液很难进入磨削区,故不能有效地降低磨削区的温度。因此应选择适宜的磨削液和有效的冷却方法。如采用高压大流量冷却、内冷却砂轮等。为减轻高速旋转的砂轮表面的高压附着气流的作用,可加装空气挡板,如图 5.64 所示,以使冷却液能顺利地喷注到磨削区。

采用开槽砂轮也是改善冷却条件的一种有效方法。在砂轮的四周上开一些横槽,能使砂轮将冷却液带入磨削区,从而提高冷却效果;砂轮开槽同时形成间断磨削,工件受热时间短;砂轮开槽还有扇风作用,可改善散热条件。因此使用开槽砂轮可有效地防止烧伤现象的发生。

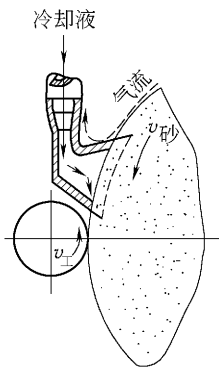


图 5.64 带空气挡板的冷却液喷嘴

3. 采用表面冷压强化工艺

冷压强化工艺是通过冷压加工方法使表面层金属发生冷态塑性变形,以降低表面粗糙度值,提高表面硬度,并在表面层产生残余压应力和冷硬层,从而提高疲劳强度及抗腐蚀性能。

(1) 喷丸

喷丸强化是利用压缩空气喷射大量快速运动($35 \sim 50 \text{ m/s}$)的直径细小($\phi 0.4 \text{ mm} \sim \phi 2 \text{ mm}$)的珠丸(钢丸、玻璃丸)来打击零件表面,造成表面的冷硬层和残余压应力,表面粗糙度值可达 $Ra 0.4 \mu\text{m}$,如图 5.65a)所示,可显著提高零件的疲劳强度和使用寿命。

(2) 滚压

滚压是用经过淬硬和精细研磨过的滚轮或滚珠,在常温下对零件表面进行

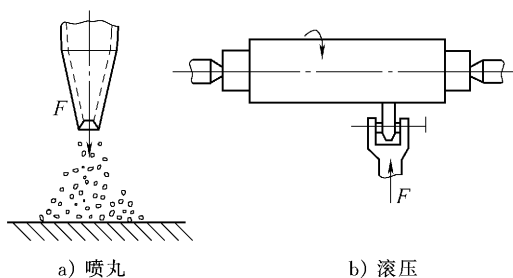


图 5.65 常用的冷压强化工艺方法

挤压,如图 5.65b)所示,使表层金属材料产生塑性流动,修正零件表面的微观几何形状,表面粗糙度值可达 $Ra\ 0.1\ \mu\text{m}$,并使金属组织细化,形成残余压应力。

5.5 制造过程质量统计分析方法与应用

实际生产中,影响加工精度的因素往往是错综复杂的,有时很难用单因素来分析其因果关系,还必须运用数理统计的方法进行综合分析,从中发现误差形成规律,找出影响加工误差的主要因素,以及解决问题的途径。

5.5.1 加工误差的性质

各种加工误差,按照其统计规律的不同,可分为系统性误差和随机性误差两大类。系统性误差又分为常值系统误差和变值系统误差两种。加工误差性质不同,其分布规律及解决的途径也不同。

1. 系统性误差

(1) 常值系统误差

在顺序加工一批工件中,其大小和方向保持不变的误差,称为常值系统误差。机床、刀具、夹具的制造误差,工艺系统受力变形引起的加工误差,均与时间无关,属于常值系统误差。机床、夹具、量具等磨损引起的加工误差,在一定时间内也可看作是常值系统误差。

常值系统误差可以通过对工艺装备进行相应的维修、调整,或采取针对性的措施来加以消除。

(2) 变值系统误差

在顺序加工一批工件中,其大小和方向按一定规律变化的误差,称为变值系统误差。机床、刀具、夹具等在热平衡前的热变形误差和刀具的磨损等,属于变值系统误差。

变值系统误差可以通过对工艺系统进行热平衡 ,按其规律对机床进行补充调整 ,或自动连续、周期性补偿等措施来加以控制。

2. 随机性误差

在顺序加工一批工件中 ,其大小和方向无规律变化的误差 ,称为随机性误差。毛坯误差(余量不均、硬度不均等)的复映、定位误差、夹紧误差、残余应力引起的误差、多次调整的误差等 ,属于随机性误差。

随机性误差是不可避免的 ,但我们可以从工艺上采取措施来控制其影响。如提高工艺系统刚度 ,提高毛坯加工精度(使余量均匀) ,毛坯热处理(使硬度均匀) ,时效(消除内应力)等。

5. 5. 2 分布图分析法

1. 实际分布图——直方图

采用调整法大批量加工的一批零件中 ,随机抽取足够数量的工件(称为样本) ,进行加工尺寸的测量 ,由于加工误差的存在 ,零件加工尺寸的实际数值是各不相同的 ,称为尺寸分散。按尺寸大小把零件分成若干组 ,分组数的推荐值见表 5. 3。同一尺寸间隔内的零件数量称为频数 ,频数与样本总数之比称为频率 ;频率与组距(尺寸间隔)之比称为频率密度。以零件尺寸为横坐标 ,以频率或频率密度为纵坐标 ,可绘出直方图。连接各直方块的顶部中点得到一条折线 ,即实际分布曲线。

表 5. 3 分组数的推荐值

样本总数 n	50 以下	50 ~ 100	100 ~ 250	250 以上
分组数 k	6 ~ 7	6 ~ 10	7 ~ 12	10 ~ 20

例题 5. 7 在卧式金刚镗床上精镗一批活塞销孔 ,要求销孔直径为 $\phi 28_{-0.015}^0\text{mm}$ 。抽查件数 $n = 100$,分组数 $k = 6$ 。尺寸测量结果、分组间隔、频数、频率见表 5. 4。绘制出直方图及实际分布图 ,如图 5. 66 所示。

表 5. 4 活塞销孔直径测量结果及分组情况

组别	尺寸范围/mm	中值尺寸 x/mm	组内工件数 m	频率 m/n
1	27. 992 ~ 27. 994	27. 993	4	0. 04
2	27. 994 ~ 27. 996	27. 995	16	0. 16
3	27. 996 ~ 27. 998	27. 997	32	0. 32
4	27. 998 ~ 28. 000	27. 999	30	0. 30
5	28. 000 ~ 28. 002	28. 001	16	0. 16
6	28. 002 ~ 28. 004	28. 003	2	0. 02

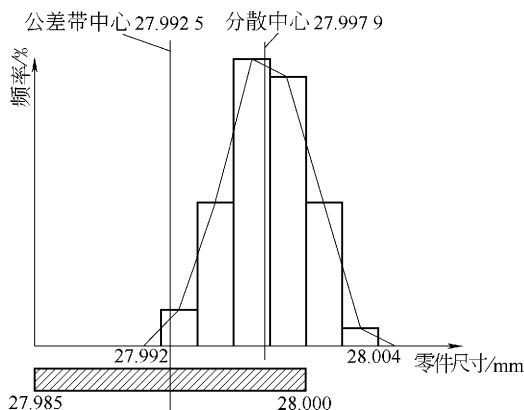


图 5.66 活塞销孔直径尺寸实际分布图

2. 正态分布曲线方程及特性

大量的统计和理论分析表明,当一批工件数量极多,加工误差因素中又都没有特殊倾向时,其分布是服从正态分布的,如图 5.67 所示。正态分布曲线(又称高斯曲线)方程式为:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2} \quad (-\infty < x < +\infty \quad \sigma > 0)$$

(5.24)

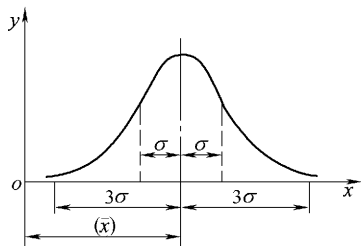


图 5.67 正态分布曲线

式中 y ——正态分布的概率密度;

\bar{x} ——工件尺寸的算术平均值 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$;

σ ——标准差(均方根偏差) $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 。

正态分布曲线对称于直线 $x = \bar{x}$, 在 $x = \bar{x}$ 处达到最大值 $y_{\max} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}}$ 。在 $x = \bar{x} \pm \sigma$ 处有拐点, 且 $y_x = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}} = y_{\max} e^{-\frac{1}{2}} \approx 0.6 y_{\max}$ 。当 $x \rightarrow \pm \infty$ 时, 曲线

以 x 轴为其渐进线, 曲线成钟形。它表明被加工零件的尺寸靠近分散中心(平均值 \bar{x}) 的工件占大部分, 而远离尺寸分散中心的工件是极少数。

平均值 \bar{x} 和标准差 σ 是正态分布曲线的两个特征参数。平均值 \bar{x} 决定了曲

线的位置,即表示了尺寸分散中心的位置。 \bar{x} 不同,分布曲线沿 x 轴平移而不改变其形状,如图 5.68a)所示。标准差 σ 决定了曲线的形状,它表示了尺寸分散范围的大小。 σ 减小, y_{\max} 增大,曲线变陡; σ 增大,曲线平坦,而与其位置无关,如图 5.68b)所示。

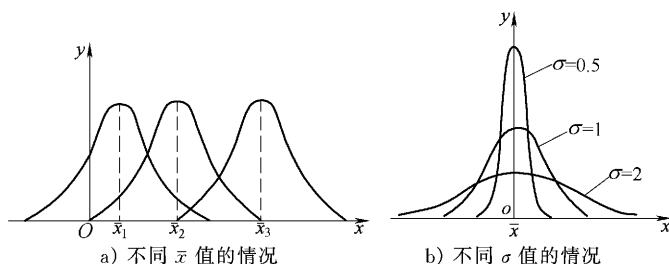


图 5.68 不同特征参数下的正态分布曲线

按照加工误差的性质,常值系统误差决定尺寸分散中心的位置,随机性误差引起尺寸分散,决定分布曲线的形状,而变值系统误差则使分散中心位置随时间按一定规律移动。

正态分布曲线下所包含的全部面积 $F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} y dx = 1$,代表了工件(样本)的总数,即 100% 零件的实际尺寸都在这一分布范围内。实际尺寸落在从 \bar{x} 到 x 这部分区域内工件的数量为 $F_x = \int_{\bar{x}}^x y dx$ 。令 $z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$,作积分变换, $dx = \sigma dz$,则

$$F(x) = \varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad (5.25)$$

对于不同 z 值的 $\varphi(z)$,可由表 5.5 查出。

$$\text{表 5.5 } \varphi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

z	$\varphi(z)$	z	$\varphi(z)$	z	$\varphi(z)$	z	$\varphi(z)$
0.1	0.039 8	1.0	0.341 3	1.9	0.471 3	2.8	0.497 4
0.2	0.079 3	1.1	0.364 3	2.0	0.477 2	2.9	0.498 1
0.3	0.117 9	1.2	0.384 9	2.1	0.482 1	3.0	0.498 65
0.4	0.155 4	1.3	0.403 2	2.2	0.486 1	3.2	0.499 31
0.5	0.191 5	1.4	0.419 2	2.3	0.489 3	3.4	0.499 66
0.6	0.225 7	1.5	0.433 2	2.4	0.491 8	3.6	0.499 841
0.7	0.258 0	1.6	0.445 2	2.5	0.493 8	3.8	0.499 928
0.8	0.288 1	1.7	0.455 4	2.6	0.495 3	4.0	0.499 968
0.9	0.315 9	1.8	0.464 1	2.7	0.496 5	4.5	0.499 997

计算结果表明,工件落在 $\bar{x} \pm 3\sigma$ 间的概率为 99.73%,而落在该范围以外的概率仅 0.27%,可忽略不计。因此可以认为,正态分布的分散范围为 $\bar{x} \pm 3\sigma$,就是工程上经常用到的 $\pm 3\sigma$ 原则,或称 6σ 原则。

6σ 原则是一个很重要的概念,在研究加工误差时应用很广。 6σ 的大小代表了某加工方法在一定的条件下所能达到的加工精度。所以在一般情况下,应使所选择的加工方法的标准差 σ 与公差带宽度 T 之间有下列关系 $6\sigma \leq T$ 。

3. 非正态分布

工件的实际分布,有时并不接近于正态分布。例如将两次调整下加工或两台机床加工的工件混在一起,尽管每次调整加工的工件都接近正态分布,但由于其常值系统误差不同,叠加在一起就得到双峰曲线,如图 5.69a)所示。

当加工中刀具或砂轮的尺寸磨损较快而没有补偿时,变值系统误差占突出地位,工件的实际尺寸分布如图 5.69b)所示。尽管在加工的每一瞬时,工件的尺寸呈正态分布,但随着刀具或砂轮的磨损,其分散中心是逐渐移动的,因此,分布曲线呈平顶状。

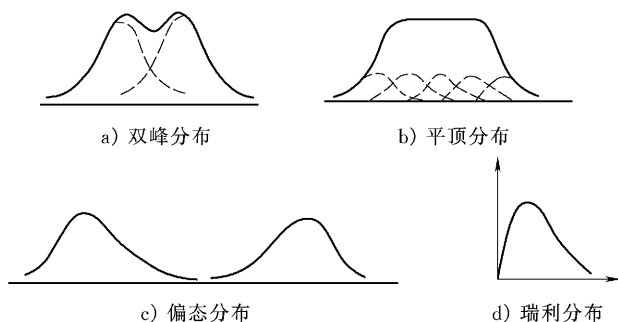


图 5.69 几种非正态分布

再如用试切法加工轴颈或孔时,由于主观上不愿意产生不可修复的废品,加工轴颈时宁大勿小,加工孔时宁小勿大,使分布曲线呈不对称状态,如图 5.69c)所示。当用调整法加工时,若工艺系统存在显著的热变形,加工结果也常常呈现偏态分布。

对于端面跳动和径向跳动一类的误差,一般不考虑正负号,所以接近零的误差值较多,远离零的误差值较少,其分布(称为瑞利分布)也是不对称的,如图 5.69d)所示。

4. 分布图分析法的应用

(1) 判断加工误差的性质

如前所述,若加工过程中没有明显的变值系统误差,那么其尺寸分布就服从

正态分布,这是判别加工误差性质的基本方法。若实际分布与正态分布基本相符,加工过程中就没有变值系统误差(或影响很小)。如实际分布与正态分布有较大出入,可根据直方图初步判断变值系统误差是什么类型。

若分布图的 \bar{x} 值偏离公差带中心,则加工过程中工艺系统存在常值系统误差,其误差值大小等于分布中心与公差带中心的偏离量。而正态分布的 6σ 大小即表明了工艺系统随机性误差的大小。在例题 5.7(图 5.66)中,常值系统误差为 0.005 4 mm。这很可能是由于调整所造成的误差,可通过重新调整加以修正。

(2) 确定各种加工方法所能达到的加工精度

由于各种加工方法在随机因素的影响下所得到的加工尺寸的分布规律符合正态分布,因而可在多次统计的基础上,为每一种加工方法求得它的标准差 σ 值。按分散范围等于 6σ 的规律,即可确定各种加工方法所能达到的加工精度。

(3) 确定工序能力及其等级

工序能力是指工序处于稳定、正常状态时,该工序加工误差正常波动的幅值。当加工尺寸服从正态分布时,其尺寸分散范围是 6σ ,因此可以用 6σ 来表示工序能力。

工序能力等级是以工序能力系数来表示的,它代表工序能满足加工精度要求的程度。当工序处于稳定状态时,工序能力系数的计算如下:

$$C_p = \frac{T}{6\sigma} \quad (5.26)$$

式中 T ——工件尺寸公差。

根据工序能力系数 C_p 的大小,将工序能力分为五级,如表 5.6 所示。在一般情况下,工序能力不应低于二级。

表 5.6 工序能力等级

工序能力系数	能力等级	说 明
$C_p > 1.67$	特级	工序能力过高,可以允许有异常波动,不经济
$1.67 \geq C_p > 1.33$	一级	工序能力足够,可以允许有一定的波动
$1.33 \geq C_p > 1.00$	二级	工序能力勉强,必须密切注意
$1.00 \geq C_p > 0.67$	三级	工序能力不足,会出现少量不合格品
$0.67 \geq C_p$	四级	工序能力很差,必须加以改进

在例题 5.7(图 5.66)中,尺寸分散范围 $6\sigma = 0.0135 \text{ mm}$,工件尺寸公差带范围为 0.015 mm ,工序能力系数 $C_p = 1.11$,工序能力为二级。

(4) 估算合格品率或不合格品率

将分布图与工件尺寸公差带进行比较,超出公差带范围的曲线面积代表废品的数量。在例题 5.7(图 5.66)中 $z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \approx 0.94$,查表 5.3 计算可得 $F(x) = \Phi(z) \approx 0.3261$;所以废品率为 $0.5 - 0.3261 = 0.1739 \approx 17.4\%$,且为不可修复的废品。

在例题 5.7 中,工序能力系数 $C_p = 1.11 > 1$,常值系统误差 0.0054 mm 的存在是产生废品的原因,而随机性误差不是造成废品的原因。只要能消除常值系统误差,加工工件就会全部合格。具体调整方法就是将镗刀的伸出量调短 0.0027 mm 。

综上所述,分布曲线是一定生产条件下加工精度的客观标志。在大批量生产时对一些关键工序的加工经常采用这种统计方法,根据分布曲线判断加工误差的性质,分析产生废品的原因,以便采取措施,提高加工精度。

但分布曲线法不考虑零件加工的先后顺序,故不能反映误差变化的趋势,不能区别变值系统误差和随机性误差;且只能在一批零件加工后才能绘制分布图,因此不能在加工过程中及时提供控制精度的信息,以便随时调整机床来保证加工精度。采用点图法可弥补上述不足。

5.5.3 点图分析法

分析工艺过程的稳定性,通常采用点图法。以下介绍个值点图和 $\bar{x} - R$ 图。

1. 个值点图

按加工顺序逐个测量一批工件的尺寸,以工件加工序号为横坐标,工件尺寸(或误差)为纵坐标,可作出图 5.70a)所示点图。为缩短点图的长度,可将顺次加工的 n 个工件编为一组,以工件组序为横坐标,而纵坐标保持不变,同一组内

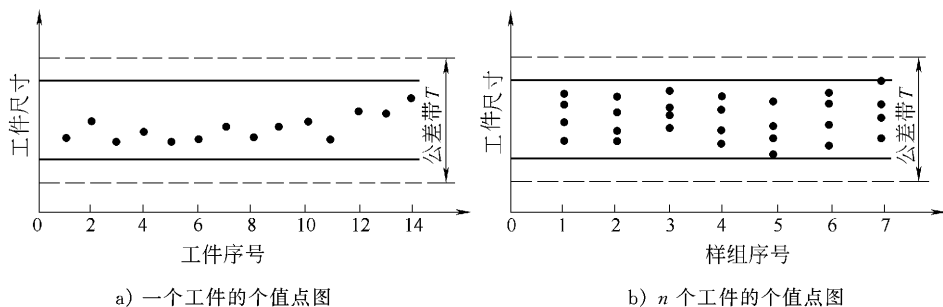


图 5.70 个值点图

各工件根据尺寸分别点在同一组号的垂直线上,就可得到图 5.70b)所示的点图。上述点图都反映了每个工件尺寸变化与加工时间的关系,称为个值点图。个值点图上画有上、下两条控制界限线(图 5.70 中用实线表示)和两条极限尺寸线(用虚线表示),作为控制不合格品的参考界限。

假如把点图的上下极限点包络成两根平滑的曲线,并作出这两根曲线的平均值曲线,如图 5.71 所示,就能较清楚地反映出加工过程中误差的性质及其变化趋势。平均值曲线 OO' 表示了每一瞬时的分散中心,其变化情况反映了变值系统误差随时间变化的规律,而起始点 O 则可看出常值系统误差的影响;上下极限曲线 AA' 和 BB' 间的宽度表示每一瞬时的尺寸分散范围,反映了随机性误差的大小,其变化反映了随机性误差随时间变化的影响。

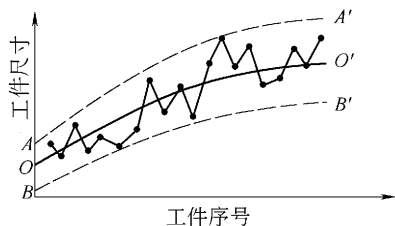


图 5.71 个值点图的平均值曲线

2. $\bar{x} - R$ 图

为了能直接反映出加工过程中系统性误差和随机性误差随加工时间的变化趋势,实际生产中常用样组点图来代替个值点图。目前最常用的样组点图是 $\bar{x} - R$ 图。 $\bar{x} - R$ 图是由平均值 \bar{x} 图和极差 R 图组成。绘制 $\bar{x} - R$ 图是以小样本顺序随机抽样为基础的。在工艺过程进行中,每隔一定时间连续抽取 $m = 2 \sim 10$ 个工件为一组,求出每一样组的平均值 \bar{x} 和极差 R 值为:

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \quad ; \quad R = x_{\max} - x_{\min}$$

式中 x_{\max}, x_{\min} ——同一样组中工件的最大尺寸和最小尺寸。

以样组序号为横坐标,以 \bar{x} 和 R 为纵坐标,就可分别作出 \bar{x} 点图和 R 点图,如图 5.72 所示。 \bar{x} 图上的点代表了瞬时分散中心的位置,所以 \bar{x} 图主要表明加工过程中系统性误差的变化趋势; R 图上的点代表了瞬时分散范围,所以 R 图主要表明加工过程中随机性误差的变化趋势。两种点图结合应用就能全面地反映加工误差的情况。

为判定某工艺是否稳定地满足产品的加工质量要求,要在 $\bar{x} - R$ 图上加平均线和上、下控制线。根据概率论可得:

$$\bar{x} \text{ 图的平均线 } \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$$

$$R \text{ 图的平均线 } \bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

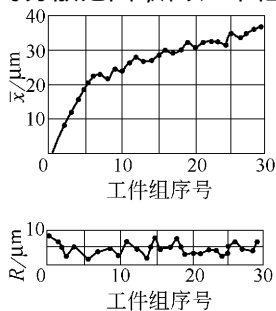


图 5.72 $\bar{x} - R$ 点图

式中 \bar{x}_i ——第 i 组的平均值；

R_i ——第 i 组的极差；

k ——组数。

\bar{x} 图的上控制线 $\bar{x}_s = \bar{\bar{x}} + A\bar{R}$ ；

\bar{x} 图的下控制线 $\bar{x}_x = \bar{\bar{x}} - A\bar{R}$ ；

R 图的上控制线 $R_s = D_1\bar{R}$ ；

R 图的下控制线 $R_x = D_2\bar{R}$ 。

上面各式中的系数 A 、 D_1 、 D_2 值见表 5.7。

表 5.7 系数 A 、 D_1 、 D_2 数值

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1.880 6	1.023 1	0.728 5	0.576 8	0.483 3	0.419 3	0.372 6	0.336 7	0.308 2
D_1	3.268 1	2.574 2	2.281 9	2.114 5	2.003 9	1.924 2	1.864 1	1.816 2	1.776 8
D_2	0	0	0	0	0	0.075 8	0.135 9	0.183 8	0.223 2

3. 点图的应用

点图分析法是全面质量管理中用以控制产品质量的主要方法之一,在实际生产中应用很广。它主要用于判断工艺过程稳定性,分析加工误差和进行加工过程的质量控制。

任何一批工件的加工尺寸都有波动性,因此各样组的平均值 \bar{x} 和极差 R 也都有波动性。假如加工误差主要是随机性误差,且系统性误差的影响很小时,那么这种波动属于正常波动,加工工艺是稳定的。假如加工中存在着影响较大的变值系统误差,或随机性误差的大小有明显的变化时,那么这种波动属于异常波动,这个加工工艺被认为是不稳定的。工艺过程是否稳定,点的波动状态是否正常,可用表 5.8 来判别。

表 5.8 正常波动与异常波动的标志

正 常 波 动	异 常 波 动
1. 没有点子超出控制线	1. 有点子超出控制线
2. 大部分点在平均线上、下波动,小部分在控制线附近	2. 点子密集在平均线上、下附近
3. 点子波动没有明显的规律性	3. 点子密集在控制线附近
	4. 连续 7 点以上出现在平均线一侧
	5. 连续 11 点中有 10 点出现在平均线一侧
	6. 连续 14 点中有 12 点以上出现在平均线一侧
	7. 连续 17 点中有 14 点以上出现在平均线一侧
	8. 连续 20 点中有 16 点以上出现在平均线一侧
	9. 点子有上升或下降倾向
	10. 点子有周期性波动

必须指出,工艺过程的稳定性与加工工件是否会出现废品是两个不同的概念。工艺过程是否稳定是由其本身的误差情况(用 $\bar{x} - R$ 图)来判定的,工件是否合格是由工件规定的公差来判定的,两者之间没有必然的联系。

例题 5.8 在自动车床上加工销轴,直径要求为 $\phi 12 \pm 0.013 \text{ mm}$,现按时间顺序先后抽检 20 个样组,每组取样 5 件。在千分比较仪上测量,比较仪按 $\phi 11.987 \text{ mm}$ 调整零点,测量数据列于表 5.7 中,单位为 μm 。试作出 $\bar{x} - R$ 图,并判断该工序工艺过程是否稳定。

解:1) 计算各样组的平均值和极差,列于表 5.9 中。

表 5.9 测量与计算数据

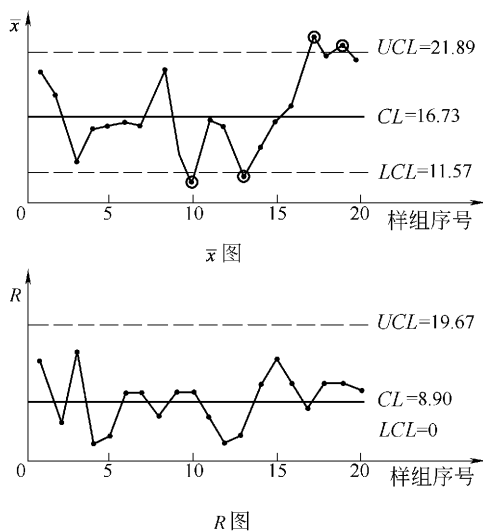
样组号	样件测量值					\bar{x}	R		样组号	样件测量值					\bar{x}	R
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5					x_1	x_2	x_3	x_4	x_5		
1	28	20	28	14	14	20.8	14		11	16	21	14	15	16	16.4	7
2	20	15	20	20	15	18	5		12	16	17	14	15	15	15.4	3
3	8	3	15	18	18	12.4	15		13	12	12	10	8	12	10.8	4
4	14	15	15	15	17	15.2	3		14	10	10	7	18	15	13.6	11
5	13	17	17	17	13	15.4	4		15	14	15	18	24	10	16.2	14
6	20	10	14	15	19	15.6	10		16	19	18	13	14	24	17.6	11
7	10	15	20	10	13	15.4	10		17	28	25	20	23	20	23.2	8
8	18	18	20	25	20	20.4	7		18	18	17	25	28	21	21.8	11
9	12	8	12	15	18	13	10		19	20	21	19	21	30	22.2	11
10	10	5	11	15	9	10	10		20	18	28	22	18	20	21.2	10

2) 计算 $\bar{x} - R$ 图控制线,分别为

$$\begin{aligned}
 \bar{x} \text{ 图 } & \text{中心线} & CL = \bar{\bar{x}} = 16.73 \mu\text{m} \\
 & \text{上控制线} & UCL = \bar{\bar{x}} + AR = 21.89 \mu\text{m} \\
 & \text{下控制线} & LCL = \bar{\bar{x}} - AR = 11.57 \mu\text{m} \\
 R \text{ 图 } & \text{中心线} & CL = \bar{R} = 8.9 \mu\text{m} \\
 & \text{上控制线} & UCL = D_1 \bar{R} = 19.67 \mu\text{m} \\
 & \text{下控制线} & LCL = 0
 \end{aligned}$$

3) 根据以上结果作出 $\bar{x} - R$ 图,如图 5.73 所示。

4) 判断工艺过程稳定性。由图 5.73 可以看出,有 4 个点越出控制线,表明工艺过程不稳定,应查找原因,加以解决。

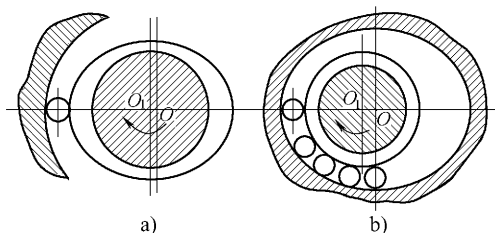
图 5.73 $\bar{x} - R$ 图

思考题与习题

5.1 试举例说明加工精度、加工误差、公差的概念,它们之间有什么区别?

5.2 车床床身导轨在垂直面内及水平面内的直线度对车削轴类零件的加工误差有什么影响?影响程度各有何不同?

5.3 试分析滚动轴承的外环内滚道及内环外滚道的形状误差(题 5.3 图)所引起主轴回转轴线的运动误差,它对被加工零件精度有什么影响?



题 5.3 图 轴承滚道误差的影响

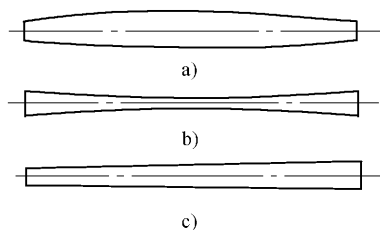
5.4 试分析在车床上加工时产生下述误差的原因:

1) 在车床上镗孔时,引起被加工孔圆度误差和圆柱度误差。

2) 在车床三爪自定心卡盘上镗孔时,引起内孔与外圆不同轴度、端面与外

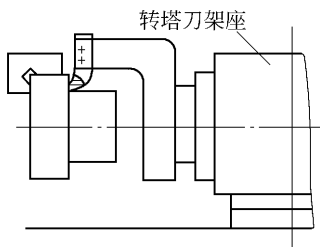
圆的不垂直度。

5.5 在车床上用两顶尖装夹工件车削细长轴时,出现题 5.5 图所示误差是什么原因?应分别采用什么办法来减少或消除?



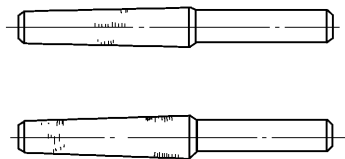
题 5.5 图 车削轴外圆时的误差

5.6 试分析在转塔车床上将车刀垂直安装加工外圆(题 5.6 图)时,影响直径误差的因素中,导轨在垂直面内和水平面内弯曲,哪个影响大?与卧式车床比较有什么不同?为什么?



题 5.6 图 转塔车床导轨误差的影响

5.7 在磨削锥孔时,用检验锥度的塞规着色检验,发现只在塞规中部接触或在塞规的两端接触(题 5.7 图)。试分析造成误差的各种因素。



题 5.7 图 塞规接触情况的原因分析

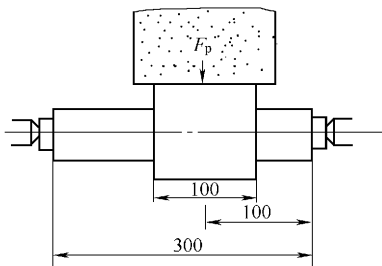
5.8 如果被加工齿轮分度圆直径 $D = 100 \text{ mm}$,滚齿机滚切传动链中最后一个交换齿轮的分度圆直径 $d = 200 \text{ mm}$,分度蜗杆副的降速比为 $1:96$,若此交换

齿轮的齿距累积误差为 $\Delta F = 0.12 \text{ mm}$,试求由此引起的工件的齿距偏差是多少?

5.9 设已知一工艺系统的误差复映系数为 0.25 ,工件在本工序前有圆柱度(椭圆度) 0.45 mm 。若本工序形状精度规定公差 0.01 mm ,问至少进给几次方能形状精度合格?

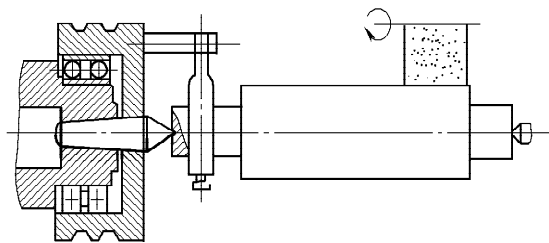
5.10 在车床上加工丝杠 ,工件总长为 $2\,650 \text{ mm}$,螺纹部分的长度 $L = 2\,000 \text{ mm}$,工件材料和母丝杠材料都是 45 钢 ,加工时室温为 20°C ,加工后工件温升到 45°C ,母丝杠温升至 30°C 。试求工件全长上由于热变形引起的螺距累积误差。

5.11 横磨一刚度很大的工件时(题 5.11 图) ,设横向磨削力 $F_p = 100 \text{ N}$,主轴箱刚度 $K_{ij} = 50\,000 \text{ N/mm}$,尾座刚度 $K_{wz} = 40\,000 \text{ N/mm}$,加工工件尺寸如图所示 ,试分析加工后工件的形状 ,并计算形状误差。



题 5.11 图 横磨工件

5.12 试说明磨削外圆时使用死顶尖的目的是什么? 哪些因素引起外圆的圆度和锥度误差(题 5.12 图)?

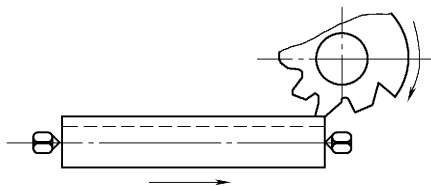


题 5.12 图 外圆磨削产生误差的原因

5.13 在车床或磨床上加工相同尺寸及相同精度的内、外圆柱表面时 ,加工内孔表面的进给次数往往多于外圆表面 ,试分析其原因。

5.14 在车床上加工一长度为 800 mm、直径为 60 mm 的 45 钢光轴。现已知机床各部件的刚度分别为 $K_{ij} = 90\,000\text{ N/mm}$ 、 $K_{wz} = 50\,000\text{ N/mm}$ 、 $K_{dj} = 40\,000\text{ N/mm}$ ，加工时的切削力 $F_C = 600\text{ N}$ ， $F_P = 0.4F_C$ 。试分析计算一次进给后工件的轴向形状误差(工件装夹在两顶尖之间)。

5.15 在卧式铣床上铣削键槽(题 5.15 图)，经测量发现靠工件两端的深度大于中间，且都比调整的深度尺寸小。试分析产生这一现象的原因。



题 5.15 图 铣键槽的误差

5.16 什么是强迫振动和自激振动？各有什么特点？机械加工中引起两种振动的主要原因是什么？如何消除和控制机械加工中的振动？

5.17 提高加工精度的主要措施有哪些？举例说明。

5.18 减小表面粗糙度值的工艺措施有哪些？提高表面层物理力学性能的工艺措施有哪些？

5.19 加工误差按照统计规律可分为哪几类？各有什么特点？采取什么工艺措施可减少或控制其影响？

5.20 什么是正态分布曲线？它的特征参数是什么？特征参数反映了分布曲线的哪些特征？

5.21 分布图分析法和点图分析法在生产中有何应用？

5.22 在无心磨床上磨削一批光轴的外圆，要求保证尺寸为 $\phi 25_{-0.021}^0\text{ mm}$ ，加工后测量，尺寸按正态规律分布， $\sigma = 0.003\text{ mm}$ ， $\bar{x} = 24.995\text{ mm}$ 。试绘制分布曲线图，求出废品率，分析误差的性质、产生废品的原因及提出相应的改进措施。

第 6 章

先进制造技术简介

先进制造技术 AMT 是传统制造技术不断吸收机械、电子、信息、材料、能源和现代管理技术的成果,并将其综合应用于产品设计、加工、检测、管理、销售、使用、服务的机械制造全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵活生产,提高对动态多变的市场的适应能力和竞争能力的制造技术的总称。一般包括:先进制造工艺技术、制造自动化技术和先进制造生产模式。

6.1 先进制造工艺技术

6.1.1 特种加工

特种加工是将电、磁、声、光、热等物理及化学能量或其组合或与机械能组合,对材料进行加工。其主要特点为:①工具材料的硬度可以大大低于工件材料的硬度,可以加工各种高强度、高硬度、高韧性、高脆性的金属和非金属材料。②可直接利用电能、电化学能、声能或光能等能量对材料进行加工,加工过程中不存在明显的机械力,工件很少产生机械变形和热变形,有助于提高工件的加工精度和表面质量。③改变了传统的工艺观念(如工件淬硬后只能磨削),对结构工艺性重新评价,拓宽了传统切削加工的方法。④各种加工方法都可以有选择地复合成新的工艺方法。特种加工适用于各种难切削材料,有特殊要求的、精密的、复杂零件表面的加工。

特种加工一般按能量形式和作用原理进行如下分类:①电能与热能作用方式有:电火花成形与穿孔加工(EDM)、电火花线切割加工(WEDM)、电子束加工(EBM)和等离子体加工(PAM);②电能与化学能作用方式有:电解加工(ECM)、电铸加工(ECM)和刷镀加工;③电化学能与机械能作用方式有:电解磨削(EG)、电解珩磨(ECH);④声能与机械能作用方式有:超声波加工(USM);⑤光能与热能作用方式有:激光加工(LBM);⑥电能与机械能作用方式有:离子束加工(IM);⑦液流能与机械能作用方式有:水射流切割(WJC)、磨料水喷射加工(AWJC)和挤压珩磨(AFH)。此外还有一些属于表面工艺,如电解抛光、化学抛光、电火花表面强化、镀覆、离子束注入掺杂等。

例如近年来发展应用很快的水喷射加工即是一种特种加工方式。水喷射加工装置由下列部分组成,如图 6.1 所示:①超高压水射流发生器;②磨料混合和液流处理装置;③喷嘴;④数控三维切割机;⑤外围设备等。水喷射可以加工金属、非金属(石材、玻璃)、木材与纸制品、塑料制品、织物与革制品等。切削的切缝宽度约 0.5 mm,切出表面的粗糙度值 Ra 12.5 μm ,切割精度达 ± 0.05 mm。

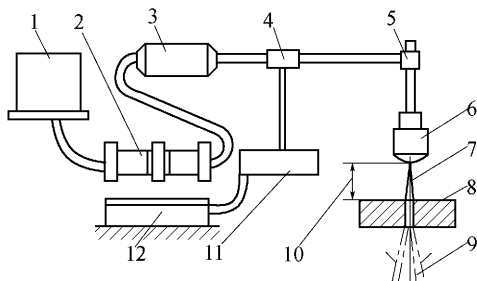


图 6.1 水喷射加工装置示意图

- 1—带过滤器的水箱 2—水泵 3—贮液蓄能器
4—控制器 5—阀 6—蓝宝石喷嘴 7—射流束 8—工件
9—排水口 10—压射距离 11—液压系统 12—增压器

6.1.2 超精密加工

1. 基本概念

超精密加工技术是一个国家制造工业水平的重要标志。军用和民用方面的尖端技术产品的产生离不开超精密加工技术。超精密加工是相对于精密加工而言的,与科学技术水平的发展有关。

目前精密加工的精度达 $10 \sim 0.1 \mu\text{m}$,表面粗糙度值为 Ra 0.3 \sim 0.03 μm ,如金刚车、金刚镗、研磨、珩磨、超精加工、砂带磨削、镜面磨削和冷压加工等。适用于精密机床、精密测量仪器等产品中关键零件的加工,如精密丝杠、精密齿轮、精密蜗轮、精密导轨、精密轴承等。

超精密加工的精度为 $0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$,表面粗糙度值为 Ra 0.05 \sim 0.03 μm ,如金刚石刀具超精密切削、超精密磨削研磨、超精密特种加工和复合加工等。适用于各种镜面、精密元件、计量标准元件、大规模和超大规模集成电路的制造。

纳米加工的精度高于 $10^{-3} \mu\text{m}$ (1 nm),表面粗糙度值 Ra 小于 0.005 μm ,其加工方法与传统的切削、磨削有很大不同,而是诸如原子、分子单位加工等方法,所以利用光子、电子、离子加工是纳米加工的主要方向和主要加工方法。

2. 实现超精密加工的主要技术条件

(1) 超精密机床

超精密机床是实现超精密切削的首要条件,它在结构原理、精度、热平衡及抗振性能方面与普通机床相比有许多特殊要求。例如,轴承采用如空气轴承类型的精密轴承,微量进给的装置通常采用弹性变形、热变形或压电晶体变形等机构实现;采用空气静压或液体静压导轨提高直线运动精度;采用在线检测、反馈控制技术来提高主轴的回转精度和工作台的移动或转动精度;支承件可以采用合成花岗岩。

(2) 超精密加工刀具

金刚石刀具的几何参数和刃磨质量、磨料、砂轮和砂带的型号、规格和种类,都必须根据被加工材料的要求进行选择。

(3) 检测和误差补偿

超精密加工需要与相应的测量技术配合,现已发展非接触式测量方法并研究原子级精度的测量技术。精密加工中的测量包括机床超精密部件运动精度的检测和加工精度的直接检测,要达到最高精度还需要使用在线检测和误差补偿。

(4) 超稳定的加工环境

超稳定环境主要包括恒温、防振、超净和恒湿四个方面。超精密加工必须在严密的恒温条件下进行,温度变化应小于 $(\pm 0.1 \sim 0.01)^\circ\text{C}$ 。超精机床一般除用防振沟和很大的地基外,还都使用空气弹簧隔振。对超精密加工车间洁净度要求每立方英尺的空气中直径大于 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上的尘埃数应小于100个。

6.1.3 微机械制造

微机械(也称微型机电系统)按外形尺寸特征,可分为 $1 \sim 100\text{ mm}$ 的微型机械, $10\text{ }\mu\text{m} \sim 1\text{ mm}$ 的微机械,以及 $10\text{ nm} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$ 的纳米机械。20世纪60年代以来,微电子技术渗透到机械工程的各个领域,大大促进机械装备向微型化方向发展。微机械由于具有能够在狭小空间内进行作业而又不扰乱工作环境和对象的特点,在航空航天、精密仪器、生物医疗等领域有着广阔的应用潜力,并成为纳米技术研究的重要手段,因而受到各国的高度重视,被列为21世纪关键技术之一。

目前已有大量的微型机械或微型系统被研制出来,例如:尖端直径为 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的微型镊子可以夹起一个红血球;尺寸为 $7\text{ mm} \times 7\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ 的微型泵流量可达 $250\text{ }\mu\text{l/min}$;长 2.4 mm 、高 8 mm 的直升机; 10 mm 高的机器人;能开动的 3 mm 大小的汽车;哈尔滨工业大学研制的电致伸缩陶瓷驱动的二自由度微型机器人,其位移范围为 $10\text{ }\mu\text{m} \times 10\text{ }\mu\text{m}$,位移分辨率为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$;清华大学开发并研制出了微电动机、多晶硅梁结构、微泵与阀。

微细加工的出现和发展最早是与大规模集成电路密切相关的,微细加工对微电子工业而言就是一种加工尺度从微米到纳米级的制造微小尺寸元器件或薄膜图形的先进制造技术。目前微型机械的制造主要采用基于半导体工艺的硅微细加工技术,如掺杂(包括扩散掺杂和离子注入掺杂)、光刻(包括接触光刻、接近光刻和投影光刻)和腐蚀技术(包括化学湿法和干法腐蚀)等。20世纪80年代中期以后又出现 LIGA(光刻电铸)加工、准 LIGA 加工、超微细机械加工、微细电火花加工、等离子体加工、激光加工、离子束加工、电子束加工及键合技术(如硅—玻璃键合、硅—硅键合)等。同时微细加工发展离不开微型机械测试技术的发展,扫描隧道显微镜(STM)、原子力显微镜(AFM)等先进测试仪器的出现大大促进了微细机械制造技术的进步。

6.1.4 超高速切削

超高速切削是近年来发展起来的一种集高效、优质和低耗于一身的先进制造工艺技术。超高速切削是指采用超硬材料刀具和能可靠地实现高速运动的高精度、高自动化、高柔性的制造设备,以极大地提高切削速度来达到提高材料切除率和加工质量的现代制造加工技术。其显著标志是使被加工塑性金属材料在切除过程中的剪切滑移速度达到或超过某一域限值,开始趋向最佳切除条件,使被加工材料切除所消耗的能量、切削力、刀具磨损、加工表面质量等明显优于传统切削,加工效率也大大高于传统切削。

对于不同加工方法和不同加工材料,超高速切削的切削速度各不相同。通常认为超高速切削各种材料的切削速度范围为:铸铁达 $900 \sim 5\,000 \text{ m/min}$,钢为 $600 \sim 3\,000 \text{ m/min}$,铝合金为 $2\,000 \sim 7\,500 \text{ m/min}$ 。就加工工种来说,超高速切削的车削速度为 $700 \sim 7\,000 \text{ m/min}$,铣削速度为 $300 \sim 6\,000 \text{ m/min}$,钻削为 $200 \sim 1\,100 \text{ m/min}$,磨削为 150 m/s 以上。

超高速切削用刀具材料要求强度高,耐热性能好。常用的刀具材料有:带涂层的硬质合金刀具、陶瓷刀具、立方氮化硼(CBN)或聚晶金刚石(PCD)刀具。试验表明,在同等情况下,其寿命往往比常规速度下的刀具寿命还要长。

超高速机床是实现超高速切削的前提条件和关键因素。超高速切削对机床的主要要求如下:①高速主轴是高速切削的首要条件,电主轴是高速主轴单元的理想结构。轴承可采用高速陶瓷滚动轴承和磁浮轴承。②快速反应的数控伺服系统和进给部件,采用多头螺纹行星滚柱丝杆代替目前的滚珠丝杆,或采用直线伺服电动机。③采用高压大流量喷射冷却系统。④有一个“三刚”(静刚度、动刚度、热刚度)特性都很好的机床支承件,如用聚合物混凝土,即“人造花岗岩”制成的超高速机床的床身或立柱。

6.1.5 快速原形制造技术(RPM)

RPM 技术是一种快速产品开发和制造的技术,利用光、电、热等手段,通过固化、烧结、粘结、熔结等方式,将材料逐层或逐点堆积,形成所需的制件。它综合应用 CAD/CAM 技术、数据处理技术、测试传感技术、激光技术等多种机械电子技术、材料技术和计算机技术,在航空航天、机械、汽车、电子、医疗等领域得到了广泛应用。用于产品开发中的设计评价、功能验证、可制造性和可装配性检验、非功能性样品制作、快速模具制造、快速制造金属型零件以及快速反求工程等。RPM 技术主要方法有:

1) 光固化法(SL) 使用液态光敏树脂为成型材料,计算机控制光束按零件的分层截面信息逐点扫描树脂表面,使树脂薄层产生光聚合反应而硬化,形成零件的一个薄层,如图 6.2 所示。接着,工作台下降一层,再次扫描,又在原固化层上产生新的一个薄层,如此反复,直至零件制造完毕。

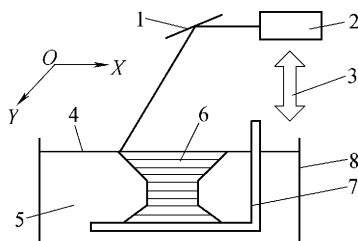


图 6.2 光固化法成形原理

1—扫描镜 2—激光器 3—Z 轴升降台 4—树脂表面
5—光敏树脂 6—零件 7—托 8—树脂槽

2) 迭层法(LOM) 在基板上铺一层箔材(如箔纸),计算机控制 CO_2 激光器按分层信息切出轮廓,并将多余部分切成碎片去除,然后再铺一层箔材,用热辊碾压,粘结在前一层上,再用激光器切割该层形状。如此反复,直至加工完毕,如图 6.3 所示。

3) 烧结法(SLS) 将粉末材料(塑料、金属粉、蜡粉等)预热,用辊子铺平,计算机控制 CO_2 激光器按分层信息有选择地烧结粉末材料,如图 6.4 所示,一层完成后重复作下一层烧结,直至零件成形,最后去掉多余粉末。

4) 熔融沉积法(FDM) 成形过程中喷头喷出的熔融材料(ABS、尼龙或石蜡等)在工作台带动下,按截面形状铺在底版上,逐层加工,直至零件加工完毕,如图 6.5 所示。

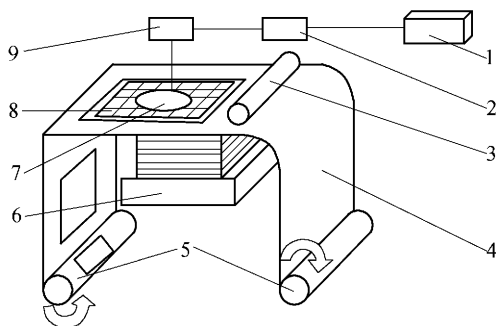


图 6.3 选层法成形原理

1—激光器 2—光电系统 3—加热辊 4—纸料 5—滚筒
6—工作平台 7—零件 8—边角料 9—X/Y 扫描系统

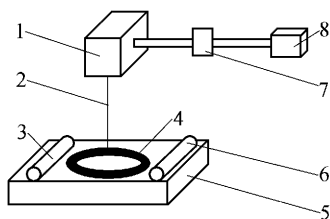


图 6.4 烧结法成形原理

1—扫描镜 2—激光束 3—铺粉装置 4—零件 5—Z 轴升降台
6—刮平辊子 7—透镜 8—激光器

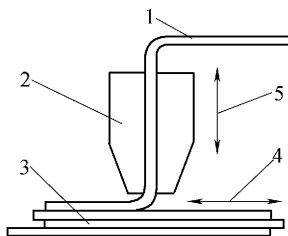


图 6.5 熔融沉积法成形原理

1—丝材 2—加热头 3—零件 4—X/Y 驱动 5—Z 向进给

6.2 制造自动化技术

6.2.1 CNC 技术(Computer Numerical Control)

数控技术是指用数字化信号(记录在媒介上的数字信息及数字指令)对设备运行及其加工过程进行控制的一种自动化技术。如果一台设备(如切削机床、锻压机械、切割机、绘图机等)实现其自动工作的命令是以数字形式来描述的,则称其为数控设备。传统的数控系统的核心数字控制装置,是由各种逻辑元件、记忆元件组成的随机逻辑电路,采用固定接线的硬件结构,数控功能是由硬件来实现的,这类数控系统称之为硬件数控,也称为 NC 数控系统。随着半导体技术、计算机技术的发展,微处理器和微型计算机功能增强,价格下降,数字控制装置已发展成为计算机数字控制装置,即所谓的 CNC 装置,它由软件来实现部分或全部数控功能。这类数控系统称之为软件数控,也称为 CNC 数控系统。CNC 系统是由程序、输入输出设备、计算机数字控制装置、可编程控制器(PLC)、主轴控制单元及速度控制单元等部分组成,如图 6.6 所示。

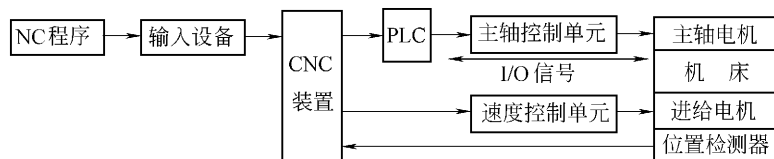


图 6.6 CNC 系统的组成框图

现代 CNC 系统往往包含一台微型计算机或采用多微处理机体系结构,它们都具有高度的柔性,逻辑控制、几何数据处理以及程序的执行由 CPU 统一管理。CNC 系统主要的特点有:①由于微型计算机的应用,减少了硬件,增加了设备的可靠性;②不依赖于硬件而独立使用,可用于不同种类的机床;③改变控制功能比较容易;④后置处理以软件方式实施;⑤编码转换器允许采用不同编码的数控程序(EIA 或 ISO 编码);⑥插补程序使零件编程变得简便;⑦可以监测和修正刀具磨损;⑧ CNC 系统与用户界面友好。

计算机数控技术是机械、电子、自动控制理论、计算机和检测技术密切结合的机电一体化高新技术,是实现制造过程自动化的基础,是自动化柔性系统的核心。

计算机数控技术向高速化、高精度化、多功能化、多轴控制、智能化、模块化、

小型化及开放式结构方向发展。以 32 位 CPU 为核心的 CNC 系统具有极快的数值处理能力,能同时实现几个过程的闭环控制以及完成高阶计算任务,其应用使得数控系统的输入、译码、计算、输出等环节都是在高速下完成,并可提高 CNC 系统的分辨率及实现连续小程序段的高速、高精度加工。现代 CNC 系统具有多种监控、检测及补偿功能,很强的通信功能、自诊断功能,具有丰富的图形功能和自动程序设计功能,便于实现人机对话及高级故障诊断技术。CNC 系统为用户提供了强大的联网能力,便于数控编程、加工一体化及柔性自动化系统联网,扩大数控系统的应用范围。现代数控系统所控制的轴数已多达 24 轴,联动轴数达 6 轴。现代数控系统智能化的发展,目前主要体现在以下一些方面:工件自动检测,自动定心,刀具破损检测及自动更换备用刀具;刀具寿命及刀具收存情况管理;负载监控;数控管理;维修管理;采用前馈控制实时补偿矢动量的功能;依据加工时的热变形,对滚珠丝杠等的伸缩进行实时补偿。总线式、模块化结构的 CNC 装置,采用多微处理器、多主总线体系结构。模块化有利于用户的需要,可构成最大或最小系统。对于技术功能和接口方面的柔性是由结构式软件模块来保证的。标准化硬件模块和专用的可规划软件模块的发展趋势已扩大到驱动装置及控制和驱动之间数字化匹配领域。德国的 SINUMERIK840D 系统,主控组件选用 386DX 或 486DX,具有 1~4 个通道,可实现直线与圆弧、螺旋线、5 轴螺旋线、圆柱及样条插补等功能,并有多种校正及补偿功能,体积仅为 50 mm×316 mm×207 mm。新一代数控系统体系结构向开放式系统发展。CNC 制造商、系统集成者、用户都希望“开放式的控制器”,能够自由地选择 CNC 装置、驱动装置、伺服电动机、应用软件等数控系统的各个构成要素,并能采用规范的、简便的方法将这些构成要素组合起来。

6.2.2 工业机器人 IR(Industrial Robot)

工业机器人是整个制造系统自动化的关键环节之一,是机电一体化的高技术产物。工业机器人是一种可以搬运物料、零件、工具或完成多种操作功能的专用机械装置;由计算机控制,是无人参与的自主自动化控制系统;它是可编程、具有柔性的自动化系统,可以允许进行人机联系。工业机器人一般由执行机构、控制系统、驱动系统三部分组成,如图 6.7 所示。

(1) 执行机构

执行机构是一种具有和手臂相似的动作功能,可在空间抓放物体或执行其他操作的机械装置,通常包括机座 d、手臂 c、手腕 b 和末端执行器 a。末端执行器是机器人直接执行工作的装置,安装在手腕或手臂的机械接口上,根据用途可分为机械式、吸附式和专用工具(如焊枪、喷枪、电钻和电动螺纹拧紧器等)三类。

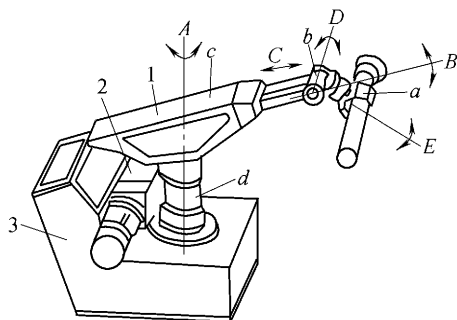


图 6.7 工业机器人组成

1—执行机构 2—控制系统 3—驱动系统

（2）控制系统

控制系统用来控制工业机器人按规定要求动作,大多数工业机器人采用计算机控制。这类控制系统分成决策级、策略级和执行级三级。决策级的功能是识别环境,建立模型,将作业任务分解为基本动作序列;策略级将基本动作变为关节坐标协调变化的规律,分配给各关节的伺服系统;执行级给出各关节伺服系统的具体指令。

（3）驱动系统

驱动系统是按照控制系统发出的控制指令将信号放大,驱动执行机构运动的传动装置。常用的有电气、液压、气动和机械等四种驱动方式。除此之外,机器人可以配置多种传感器(如位置、力、触觉、视觉等传感器),用以检测其运动位置和工作状态。

工业机器人的分类方法很多,一般按照下列情况分类:

- ① 按坐标形式分:直角坐标式(三个直线坐标)、圆柱坐标式(一个回转轴和二个直线坐标)、极坐标式(二个回转轴和一个直线坐标)、关节式(三个回转轴);
- ② 按控制方式分:点位控制和连续轨迹控制;
- ③ 按驱动方式分:电力驱动、液压驱动和气压驱动机器人;
- ④ 按信息输入方式分:人操作机械手、固定程序机器人、可变程序机器人、程序控制机器人、示教再现机器人和智能机器人。

现有工业机器人主要用于机械制造、汽车工业、金属加工、电子工业、塑料成形等行业。从功能上看,这些应用领域涉及机械加工、搬运、工件及工夹具装卸、焊接、喷漆、装配、检验和抛光修正等。除此之外,机器人在核能、海洋和太空探索、军事、家庭服务等领域的应用越来越广泛。随着材料技术、精密机械技术、传

传感器技术、微电子及计算机技术、人工智能技术的迅猛发展,机器人技术也在不断地发展。

6.2.3 柔性制造系统(FMS)(Flexible Manufacturing System)

柔性制造系统是由数控加工设备、物料运储装置和计算机控制系统等组成的自动化制造系统。它包括多个柔性制造单元,能根据制造任务或生产环境的变化迅速进行调整,以适应多品种、中小批量生产。

FMS 主要由加工系统(数控加工设备,一般是加工中心)、物料系统(工件和刀具运输及存储)以及计算机控制系统(中央计算机及其网络)组成。

(1) 加工系统

包括由两台以上的数控机床、加工中心或柔性制造单元以及其他的加工设备所组成,例如测量机、清洗机、动平衡机和各种特种加工设备等。

(2) 物料系统

包括自动化立体仓库、传送带、自动导引小车、工业机器人、上下料托盘、交换工作台等机构,能对刀具、工夹具、工件和原材料等物料进行自动装卸、完成工序间的自动传送和运储。

(3) 计算机控制系统

能够实现对 FMS 的运行控制、刀具管理、质量控制,以及 FMS 的数据管理和网络通信。

FMS 还包括刀具监控和管理系统、冷却系统、切屑系统等附属设备。

FMS 的基本工作方式是:各个制造单元沿着中央物料运送系统分布。运料小车将一个特定的零件送到所需的制造单元时,相应的机器人将其拾取并将它安装在制造单元的某台 CNC 机床上进行自动加工;加工后,机器人会把零件返回到运料小车上,送至下一个 CNC 机床或制造单元上,如此重复,直至零件加工完成;机器人卸下零件,送到自动检测站,检测合格后,送到立体仓库。各个制造单元之间的协调和零件的流程控制均在计算机控制系统的统一管理下完成。

按照制造系统的规模、柔性和其他特征,FMS 有以下不同的应用形式:柔性制造单元 FMC、柔性制造系统 FMS、柔性制造线 FML 和柔性制造工厂 FMF(又称自动化工厂 FA)。图 6.8 为典型的柔性制造系统。

FMS 的主要特点为:设备利用率高,提高产品制造的柔性或灵活性,缩短制造产品的准备时间,减少工厂的库存,提高产品质量和生产率,大幅度降低中小批生产零件的成本。

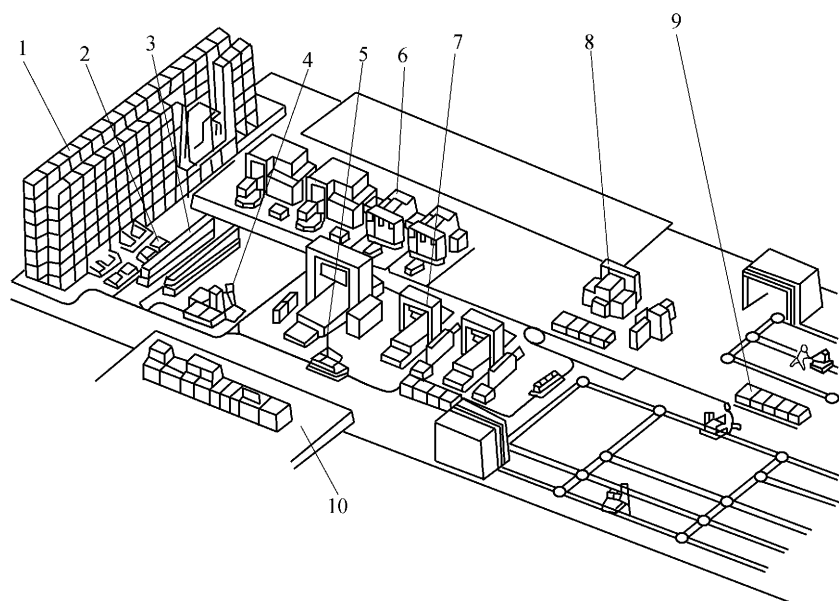


图 6.8 柔性制造系统

1—自动仓库 2—装卸站 3—托盘站 4—检验机器人 5—自动小车
6—卧式加工中心 7—立式加工中心 8—磨床 9—组装交付站 10—计算机控制室

6.2.4 计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)

CIM 是一种概念,一种哲理,它指出在制造企业中将从市场分析、经营决策、产品设计,经过制造过程各环节,最后到销售和售后服务,包括原材料、生产和库存管理、财务资源管理等全部运营活动,在一种全局集成规划指导下,在更充分发挥人的集体智慧和合作精神的氛围中,关联起来集成为一个整体,逐步实现全企业的计算机化。其目的是实现企业内更短的设计生产周期,改善企业经营管理,适应市场的迅速变化,获得更大经济效益。CIM 哲理很快被制造业接受,并演变成一种可以实现的先进生产模式——计算机集成制造系统(CIMS)。它是应用现代管理技术、制造技术、信息技术、自动化技术、系统工程技术于一体的系统工程。CIMS 并不等于全盘自动化,CIMS 的核心在于集成,是人、技术和经营三大方面的集成,以便在信息和功能集成的基础上使企业组成一个统一的整体,保证企业内的工作流程、物质流和信息流畅通无阻。

CIMS 在我国的研究、开发与应用取得了重大进展,得到了国际同行的认可。清华大学、华中科技大学的 CIMS 工程研究中心和北京第一机床厂 CIMS 工程分

别获得美国制造工程师学会(SME)的CIMS应用开发“大学领先奖”和“工业领先奖”。目前应用CIMS的工厂覆盖了机械、电子、航空、航天、石油、化工、纺织、轻工、冶金、邮电等行业。

CIMS的基本组成如图6.9所示。

(1) 管理信息系统

管理信息系统是CIMS的神经中枢,指挥与控制着其他各个部分有条不紊地工作。它通常包括预测、经营决策、各级生产计划、生产技术准备、销售、供应、财务、成本、设备、工具、人力资源等各项管理信息功能模块。

(2) 工程设计自动化系统

包含产品的概念设计、工程与结构分析、详细设计、工艺设计以及数控编程等,即通常所说的CAD、CAPP、CAM三大部分。CAD/CAPP/CAM的集成化是CIMS的重要性能指标,可以通过产品数据管理(PDM)实现。其目的是使产品开发活动更高效、更优质、更自动地进行。

(3) 制造自动化系统

通常由CNC机床、加工中心、FMC或FMS等组成。制造自动化系统是在计算机的控制与调度下,按照NC代码将一个个毛坯加工成合格的零件并装配成部件以至产品,完成管理部门下达的任务,并将制造现场的各种信息实时地或经过初步处理后反馈到相应部门,以便及时地进行调度和控制。

(4) 质量保证系统

主要采集、存储、评价与处理存在于产品生命周期的各个阶段中与质量有关的大量数据,利用这些信息有效地促进质量的提高,实现产品的高质量、低成本,提高企业的竞争力。它包括质量决策、质量检测、质量评价、质量信息综合管理与反馈控制等功能。

(5) 数据库系统

它是支持CIMS各系统并覆盖企业全部信息的数据库系统,它在逻辑上是统一的,在物理上可以是分布的,以实现企业信息共享和信息集成。

(6) 计算机通信网络系统

计算机网络技术是CIMS重要的信息集成工具。通过计算机通信网络将物理上分布的CIMS各个功能分系统的信息联系起来,支持资源共享、分布处理、分层递阶和实时控制。

CIMS的集成已经从原先企业内部的信息集成和功能集成,发展为以并行工

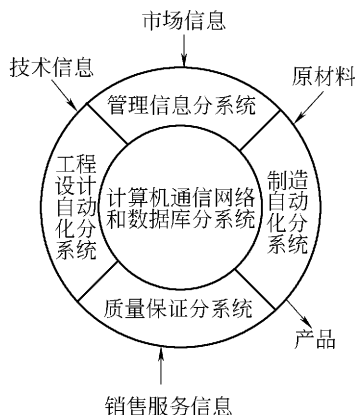


图 6.9 CIMS 的基本组成

程为代表的过程集成和以敏捷制造为代表的企业集成。CIMS 除了具有柔性化和集成化特性,还将向智能化方向发展。

6.2.5 智能制造 IM(Intelligent Manufacturing)

智能制造是指利用计算机模拟制造专家的分析、判断、推理、构思和决策等智能活动,并将这些智能活动与智能机器有机地融合起来,将其贯穿应用于整个制造企业的各个子系统,以实现整个制造企业经营运作的高度柔性化和高度集成化,从而取代或延伸制造环境中专家的部分脑力劳动,并对制造业专家的智能信息进行收集、存储、完善、共享、继承和发展。

智能制造是人工智能技术和制造技术结合的产物,它以取代人的部分智能性脑力劳动,实现制造过程的自组织能力和制造环境的全面智能化为目标。智能制造系统包括智能制造技术和智能制造系统 IMS。智能制造系统是综合应用人工智能技术、信息技术、自动化技术、制造技术、并行工程、生命科学、现代管理技术和系统工程理论与方法,在国际标准化和互换性的基础上,使整个企业制造系统中的各个子系统分别智能化,并使制造系统成为网络集成、高度自动化的一种制造系统。

智能制造系统具有以下特征:

1) 自组织能力 各组织单元能够依据工作任务的需要,自行组成一种最佳结构,按最优的方式运行,完成任务后,该结构自行解散,并在下一个任务中集结成新的结构。

2) 自律能力 即收集与理解环境信息和自身的信息,并进行分析判断和规划自身行为的能力。

3) 自学和自维护能力 能以原有的专家知识为基础,在实践中不断进行学习,完善系统的知识库。同时,还能对系统故障进行自我诊断、排除和修复。

4) 人机一体化 一方面突出人在制造系统中的核心地位,同时在智能机器的配合下,能更好地发挥人的潜能,使人机之间表现出一种相互理解、相互协作的关系,人和机在不同的层次上各显其能,优势互补,相辅相成。

5) 虚拟现实 人机结合的新一代智能界面,使得可用虚拟手段智能地表现现实,它是智能制造的一个显著特征。

6) 智能集成 在强调各子系统智能化的同时,更注重整个制造系统的智能集成。它包括了经营决策、采购、产品设计、生产计划、制造装配、质量保证和市场销售等各子系统,并把它们集成为一个整体,实现整体的智能化。

6.3 先进制造哲理、管理技术与生产模式

6.3.1 精益生产 LP(lean Production)

20 世纪 80 年代初,日本的汽车、家电等产品占领了美国和西方发达国家的市场,为了剖析日本经济腾飞的奥秘,美国麻省理工学院负责实施了一项关于国际汽车工业的研究计划,其结果表明,造成日本与世界各国在汽车工业发展上的差距的根本原因在于采用了由丰田汽车公司创造的新生产方式,这种生产方式被称为“精益生产”。精益生产方式引起了欧美等发达国家以及许多发展中国家的极大兴趣。精益生产的核心内容是准时制生产方式(JIT),该种方式通过看板管理,成功地制止了过量生产,从而彻底消除产品制造过程中的浪费,实现生产过程的合理性、高效性和灵活性。

精益生产是在 JIT 生产方式、成组技术 GT 以及全面质量管理 TQC 的基础上逐步完善的,构成了一个以 LP 为屋顶,以 JIT、GT、TQC 为支柱,以并行工程 CE 和小组化工作方式为基础的模式,如图 6.10 所示,其主要特征有:

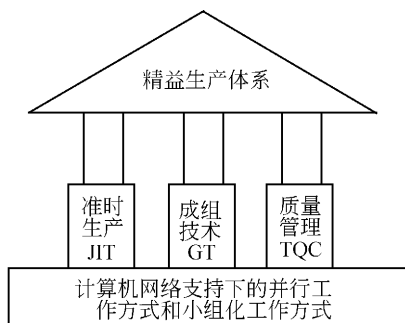


图 6.10 精益生产的体系构成

1) 以用户为“上帝” 主动与用户保持密切联系,面向用户、通过分析用户的消费需求来开发新产品。产品适销,价格合理,质量优良,供货及时,售后服务到位等。

2) 以人为中心 大力推行以班组为单位的生产组织形式,班组具有独立自主的工作能力,发挥职工在企业一切活动中的主体作用,培养奋发向上的企业精神,赋予职工在自己工作范围内解决生产问题的权利。

3) 以“精简”为手段 精简组织机构,精简岗位与人员,降低加工设备的投入总量,简化生产制造过程,采用准时和看板方式管理物料,减少物料的库存量。

4) 项目组和并行设计 项目组由不同部门的专业人员组成,以并行设计方式开展工作,该小组全面负责一个产品的开发和生产,包括产品设计、工艺设计、编写预算、生产准备及投产等,并根据实际情况调整原有设计和计划。

5) 准时供货方式 某道工序在必要时才向上工序提出供货要求,准时供货使外购件的库存量和在制品数达到最小。保证准时供货能够实施,必须与供货企业建立良好的合作关系。

6) “零缺陷”工作目标 精益生产所追求的目标不是“尽可能好一些”,而是“零缺陷”,即最低的成本、最好的质量,无废品、零库存与产品的多样性。

6.3.2 并行工程 CE(Concurrent Engineering)

传统产品制造的“产品设计→工艺设计→计划调度→生产制造”工作方式是顺序进行的,设计与制造脱节,一旦制造出现问题,就要修改设计。使整个产品开发周期很长,新产品难以很快上市。面对着激烈的市场竞争,1986年美国提出了“并行工程”的概念,即:“并行工程是集成地,并行地设计产品及其相关的各种过程(包括制造过程和支持过程)的系统方法。这种方法要求产品开发人员在设计一开始就考虑产品整个生命周期中从概念形成到产品报废处理的所有因素,包括质量、成本、进度计划和用户要求。”并行设计将产品开发周期分解成多个阶段,各个阶段间有部分相互重叠,如图6.11所示。

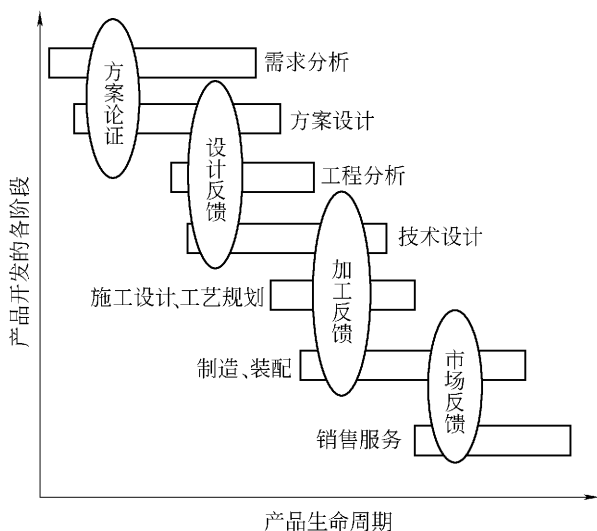


图 6.11 并行设计过程

并行工程是充分利用现代计算机技术、现代通信技术和现代管理技术来辅

助产品设计的一种工作方法。它站在产品全生命周期的高度,打破传统的部门分割、封闭的组织模式,强调参与者的协同工作,重视产品开发过程的重组、重构。并行工程又是一种集成产品开发全过程的系统化方法。并行工程的关键有以下4点:

1) 产品开发队伍重构 将传统的部门制或专业组转变成以产品为主线的多功能集成产品开发团队(IPT)。IPT被赋予相应的职责权利,对所开发的产品对象负责。

2) 过程重构 从传统的串行产品开发流程转变成集成的、并行的产品开发过程,并强调企业在产品生命周期的全过程中实现信息集成、功能集成和过程集成。并行过程不仅是活动的并行,更主要的是下游过程在产品开发早期参与设计过程;另一个方面则是过程的改进,使信息流动与共享的效率更高。

3) 数字化产品定义 包括两个方面:数字化产品模型和产品生命周期数据管理,数字化工具定义和信息集成,如面向工程的设计(DFX)、CAD/CAE/CAPP/CAM、产品数据管理(PDM)、计算机仿真技术(如加工、装配过程仿真、生产计划调度仿真)等。

4) 协同工作环境 用于支持IPT协同工作的网络与计算机平台。

并行工程自提出以来,受到国内外学术界、工业界和政府部门的重视。它是一种新的产品开发模式,对并行工程影响最大的是精益生产中组织方式和CIMS的信息集成。并行工程可以缩短产品开发周期,降低成本,增强企业的市场竞争能力,它适用于产品开发周期长、复杂程度高、开发成本高的行业。并行工程在国外航空、航天、机械、计算机、电子、汽车、化工等工业中的应用越来越广泛,取得了显著的效益。

6.3.3 敏捷制造 AM(Agile Manufacturing)

美国为了夺回被日本、西欧和世界其他国家所占领的市场,巩固其在世界经济中的霸主地位,重振经济雄风,把希望寄托在21世纪的制造业上。1991年在国防部的资助下,美国里海大学发表了具有划时代意义的《21世纪制造企业发展战略》报告,提出了敏捷制造新概念。敏捷制造指的是制造企业能够把握市场机遇,及时动态地重组生产系统,在最短的时间内向市场推出有利可图的、用户认可的、高质量的产品。

敏捷制造的目标是要实现企业间的集成,敏捷制造的核心问题是组建动态联盟(又称虚拟企业)。动态联盟是充分利用现代通信技术把地理位置上分开的两个或两个以上的成员公司(盟员)组成在一起的一种有时限(非固定化)的、相互依赖、信任、合作的组织,通过竞争被核心公司(盟主)吸收加入。为了共同的利益,每个成员只做自己特长的的工作。把各成员的专长、知识和信息集成起

来,以最短响应时间和最少的投资为目标,来满足用户的需求。为了确保市场竞争的胜利,动态联盟正式运行前必须分析该联盟的组合是否最优,将来的运作是否协调,并对动态联盟的运行效益和风险作出正确评价。

计算机集成制造、计算机建模与仿真、虚拟制造技术、企业经营过程重构、快速原型制造、网络技术、并行工程与协同工作环境、ERP、人工智能等是实现敏捷制造的关键技术。

6.3.4 网络化制造

网络化制造指的是:面对市场机遇,针对某一市场需要,利用以互联网(Internet)为标志的信息高速公路,灵活而迅速地组织社会制造资源,把分散在不同地区的现有生产设备资源、智力资源和各种核心能力,按资源优势互补的原则,迅速地组合成一种没有围墙的、超越空间约束的、靠电子手段联系的、统一指挥的经营实体——网络联盟企业,以便快速推出高质量、低成本的新产品。采用网络化制造能提高我国制造资源的利用率,实现我国制造资源的共享,提高企业对市场的反应速度,增强我国制造业的国际竞争力。

实施网络化制造技术的行为主体是网络联盟,网络联盟企业必须以客户为中心。网络联盟的生命周期按时序大致划分为:面对市场机遇时的市场分析、资源重组分析、网络联盟组建设计、网络联盟组建实施、网络联盟运营、网络联盟终止。

网络化制造的关键技术包括:①制造企业信息网络;②快速产品设计和开发网络;③由独立制造岛组成的产品制造网络;④全面质量管理和用户服务网络;⑤电子商务网络;⑥制造工程信息的通信。

在网络联盟全寿命周期内,所涉及的实施技术涵盖了以下几方面:组织管理与运营管理技术;资源重组技术;网络与通讯技术;信息传输、处理与转换技术等。由于网络化制造是建立在以互联网为标志的信息高速公路的基础上,因此必须建立和完善相应的法律、法规框架与电子商务环境,建立国家制造资源信息网,形成信息支持环境。国家制造资源信息网应具有:企业开发能力、设备能力、技术财富、智力资源和业务经验等核心能力的信息,以及对这些核心能力的评价功能,使得全国制造业企业都可访问该信息网,并通过评价功能,协助企业更容易地选择和确定合作伙伴,实现高效地组建网络联盟,快速地响应市场。

信息技术正在推动制造业技术的、组织的变革。广大企业已逐渐认识到,面对信息时代的到来,企业结构将发生变化,采用网络化制造模式将有助于提高企业的竞争力。

6.3.5 企业资源计划 ERP(Enterprise Resource Planning)

物料需求计划 MRP(Material Requirements Planning)是应用计算机来计算物料需求和制定生产计划的一种方法 ,使企业的物资计划与控制取得了极大的成功 ,并在应用中得到发展 ,成为制造业全面的生产管理系统——制造资源计划 MRP II(Manufacturing Resources Planning)。MRP II 主要是面向企业内部资源全面计划管理。随着市场竞争的进一步加剧 ,企业竞争空间与范围的进一步扩大 ,具有有效利用和管理整体资源的管理思想的 ERP 随之产生。

ERP 是基于计算机技术和管理科学的最新发展 ,从理论和实践两方面提供企业整体经营管理的解决方案。它是在 MRP II 的基础上扩展了管理范围 ,建立新的结构 ,把客户需求和企业内部的制造活动 ,以及供应商的制造资源整合在一起 ,体现了完全按用户需求制造的思想 ,并吸收了准时生产 JIT、全面质量管理 TQC 等的管理思想 ,扩展了管理信息系统的范围。除了传统 MRP II 系统的制造、财务、销售、分销、人力资源管理等功能外 ,还集成了质量管理、决策支持等功能 ,并支持互联网、企业内部网和外部网及电子商务等。它根据市场的需求对企业内部和其供应链上各环节的资源进行全面规划、统筹安排和严格控制 ,以保证人、财、物、信息等各类资源得到充分、合理的利用 ,从而达到提高生产效率、降低成本、满足顾客需求、增强企业竞争力的目的。

对于企业来说 ,管理思想是 ERP 的灵魂 ,ERP 的实施过程必须考虑对企业的管理改造和流程优化。只有这样 ,企业的管理信息化才能从根本入手 ,否则 ,即使是优秀的 ERP 产品 ,缺乏管理改造的实施也只能是空中楼阁。

ERP 也在不断地发展 ,其作用从传统 ERP 的资源优化和业务处理扩展到利用企业间协作运营的资源信息 ,并且不仅仅是电子商务模式的销售和采购 ;从注重企业内部流程管理发展到外部联结 ;由物流、资金流、信息流管理扩展到客户流、知识流的有效配置、控制和管理。系统结构是面向 Web 和面向集成设计的 ,同时是开放的、组件化的。数据处理方式是面向分布在整个商业社区的业务数据进行处理的。另外 ,ERP 也朝智能化方向发展。ERP 将许多先进的管理如敏捷制造(AM)、精益生产(LP)、并行工程(CE)、供应链管理(SCM)、客户关系管理(CRM)、知识链管理(KCM)、全面质量管理(TQC)和产品协作商务(CPC)等体现在 ERP 软件系统中 ,成为崭新的现代制造企业的管理手段。

思考题与习题

- 6.1 简述先进制造技术的概念与涉及的主要内容。
- 6.2 简述特种加工的涵义、特点及其常用的方法。
- 6.3 什么是超精密加工? 实现超精密加工的主要技术条件有哪些?

- 6.4 什么是微机械？微机械加工的主要方法有哪些？
- 6.5 简述快速原型技术的涵义及其常用的方法。
- 6.6 简述数控技术的涵义与发展趋势。
- 6.7 试述工业机器人的结构组成、分类及其在生产中的应用。
- 6.8 简述 FMS 的组成与分类。
- 6.9 什么是 CIMS？简述其功能模块与作用。
- 6.10 简述智能制造的涵义。
- 6.11 试述精益生产的特征。
- 6.12 实现并行工程的条件有哪些？
- 6.13 敏捷制造与 CIMS、网络化制造有何不同？
- 6.14 ERP 与 MRP II 有何不同？

参考文献

- 1 胡永生编著. 机械制造工艺原理. 北京: 北京理工大学出版社, 1992
- 2 卢秉恒主编. 机械制造技术基础. 北京: 机械工业出版社, 1999
- 3 张福润, 徐鸿本, 刘延林主编. 机械制造技术基础. 第2版. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000
- 4 曾志新, 吕明主编. 机械制造技术基础. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2001
- 5 张世昌主编. 机械制造技术基础. 天津: 天津大学出版社, 2002
- 6 王贵成主编. 机械制造学. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 7 朱焕池主编. 机械制造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1996
- 8 朱正心主编. 机械制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 9 盛晓敏, 邓朝晖主编. 先进制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 10 王启平主编. 机械制造工艺学. 第5版. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999
- 11 赵志修主编. 机械制造工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 12 李庆寿主编. 机床夹具设计. 北京: 机械工业出版社, 1984
- 13 肖继德主编. 机床夹具设计. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 14 刘友才主编. 机床夹具设计. 北京: 机械工业出版社, 1992
- 15 冯之敬主编. 机械制造工程原理. 北京: 清华大学出版社, 1999
- 16 王德泉主编. 砂轮特性与磨削加工. 北京: 中国标准出版社, 2001
- 17 戴曙主编. 金属切削机床. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 18 张根保, 王时龙, 徐宗俊编著. 先进制造技术. 重庆: 重庆大学出版社, 1996
- 19 孙大涌主编. 先进制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 20 张世昌, 李旦, 高航主编. 机械制造技术基础. 北京: 高等教育出版社, 2001
- 21 李伟光主编. 现代制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 22 顾崇銓主编. 机械制造工艺学. 西安: 陕西科学技术出版社, 1981
- 23 王茂元主编. 机械制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 24 郎建国主编. 机械制造工程. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 25 李华主编. 机械制造技术. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 26 刘坚主编. 机械加工设备. 北京: 机械工业出版社, 2001
- 27 周泽华主编. 金属切削原理. 第2版. 上海: 上海科学技术出版社, 1993

- 28 王永章,杜君文,程国全主编. 数控技术. 北京:高等教育出版社,2001
- 29 姚英学,蔡颖主编. 计算机辅助设计与制造. 北京:高等教育出版社,2002
- 30 冯之敬主编. 机械制造工程原理. 北京:清华大学出版社,1999
- 31 黄鹤汀主编. 机械制造装备. 北京:机械工业出版社,2001
- 32 陆剑中,孙家宁编. 金属切削原理与刀具. 北京:机械工业出版社,1998
- 33 袁国定,朱洪海主编. 机械制造技术基础. 南京:东南大学出版社,2000
- 34 袁绩乾,李文贵主编. 机械制造技术基础. 北京:机械工业出版社,2001
- 35 吉卫喜主编. 机械制造技术. 北京:机械工业出版社,2001
- 36 朱晓春主编. 数控技术. 北京:机械工业出版社,2002
- 37 国家自然科学基金委员会. 机械制造科学(冷加工). 北京:科学出版社,1994
- 38 周泽华主编. 金属切削原理. 第2版. 上海:上海科学技术出版社,1993
- 39 蔡颖,薛庆,徐弘山编著. CAD/CAM 原理与应用. 北京:机械工业出版社,1999
- 40 王贤坤等编. 机械 CAD/CAM 技术应用与开发. 北京:机械工业出版社,2001
- 41 苑伟政,马炳和编著. 微机械与微细加工技术. 西安:西北工业大学出版社,2000
- 42 张申生等著. 敏捷制造理论、技术与实践. 上海:上海交通大学出版社,2000
- 43 张曙著. 分散网络化制造. 北京:机械工业出版社,1999
- 44 张根保等编. 自动化制造系统. 北京:机械工业出版社,2001
- 45 陈禹六编著. 先进制造业运行模式. 北京:清华大学出版社,1998
- 46 熊光楞等编著. 并行工程的理论与实践. 北京:清华大学出版社,2001
- 47 周玉清,刘伯莹等编著. ERP 原理与应用. 北京:机械工业出版社,2002
- 48 曾芬芳,景旭文等编著. 智能制造概论. 北京:清华大学出版社,1998
- 49 王贵成,张银喜编. 精密与特种加工. 武汉:武汉理工大学出版社,2001
- 50 王隆太等编. 现代制造技术. 北京:机械工业出版社,2001
- 51 周冀平,林岗等编. 机械制造自动化技术. 北京:机械工业出版社,2001

后 记

本书是教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”机械类子课题的研究成果,是应用型机械类系列教材之一。结合课题的立项研究,应用型机械类系列教材组成了教材编写委员会,负责整套教材的编写组织工作。编写委员会成员如下:

主 任:刘迎春

副主任:宁立伟 熊志卿 王 华 周骥平 唐国兴 李建启 姚必强
王林鸿

委 员:刘 明 杜瑞成 方 新 钟守炎 于惠力 朱志宏 徐文宽
蔡小梦 陈立德 舒小平 王安民 刘庆国 李建华 孙如军
邢邦圣 余五新 蒋同洋 倪宏昕 耿跃宏 胡 琳 田忠友
傅志红 何法江 曹晓明 续海峰 曾 励