

莫开旺 主编

Ji Xie Zhi Zao Gong
Yi Xue
机械制造工艺学

安徽科学技术出版社

封面设计：尹炳瑞

机械制造工艺学

莫开旺 主编

安徽科学技术出版社出版

(合肥市九州大厦八楼)

安徽省新华书店发行 合肥市永青印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：23.25 数字：534,000

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷

印数：00,001—3,500

ISBN7-5337-0597-2/TH·3 定价：9.80元

前 言

《机械制造工艺学》是工科学校机械制造工艺与设备专业的主要必修专业课程，也是机械类其他专业和机械工业管理专业的一门重要课程。

现有同类教材，多数把机械制造工艺与机床夹具设计两大部分内容，分编成两本教材。本教材把这两部分内容合编成一本教材，是考虑到使两部分内容更好地紧密结合，也考虑到各学校的教学计划多数把这两部分内容合设为一门专业课程，即《机械制造工艺学》，这样有助于缩短专业课学时，以便有更多时间用于加强基础和实践性环节。

本教材各章节的顺序和内容，深度和广度，都尽量考虑到便于教学和自学。分列的章节较全面系统，充分考虑到教材的通用性、实用性和先进性，注意满足各种教学对象的要求。每章后附有习题，有助于启发读者独立思考，培养分析问题和解决问题的能力。本书章、条、款、项采用最新编写格式，书中内容尽量选用最新资料和国家标准。

本书可供中专、大专的机制专业选为教材，也可供其他高校机械类非机制专业选为教材，还可供从事机械制造专业技术人员参考。

全书共分十章。第一章由莫开旺编写，第二章由张建中编写，第三章由孟军编写，第四、六章由杨良编写，第五章由杨仲冈编写，第七、十章由武志斌编写，第八、九章由姜斌和陈晓军共同编写。全书由合肥工业大学机制教研室莫开旺教授主编兼主审，由他提出全书编写提纲，负责全书统稿、删补、审改和定稿。

本书由安徽省职工电视中等专业学校组织编写。

本书编写仓促，不足之处，敬请有关同行和广大读者批评指正。

编 者

1989年10月

目 录

第一章 总论	1	2.7.1 工序基准与设计基准重合时工	
1.1 国内外机械制造业的发展	1	序尺寸及公差确定	46
1.2 机械制造技术的进步	3	2.7.2 工艺基准与设计基准不重合	
1.3 机械制造职业教育的重要性	5	时工序尺寸及公差确定	47
1.4 《机械制造工艺学》的学习要求	6	2.7.3 工序尺寸以需要加工而未加工	
第二章 机械加工工艺规程的制订	7	的表面定位时工序尺寸及	
2.1 基本概念	7	公差确定	47
2.1.1 机械加工工艺规程的概念	7	2.8 工艺过程的生产率与	
2.1.2 生产纲领及生产类型	7	经济性	48
2.2 机械加工工艺规程	9	2.8.1 工艺过程劳动生产率	48
2.2.1 制订工艺规程的作用	9	2.8.2 工艺过程的经济分析	51
2.2.2 工艺规程的内容	9	第三章 工件的安装与夹具	55
2.2.3 制订工艺规程的原则和所需的原始资料	11	3.1 概述	55
2.2.4 制订工艺规程的程序	17	3.1.1 工件的安装	55
2.3 机械零件的工艺分析	18	3.1.2 夹具的组成及功用	55
2.3.1 零件图纸的审查	18	3.1.3 夹具的分类	57
2.3.2 零件加工工艺分析	18	3.2 工件的定位	58
2.3.3 零件的结构工艺性	19	3.2.1 定位方法及定位元件	58
2.4 工件定位基准的选择	28	3.2.2 定位误差的分析计算	68
2.4.1 定位原理	28	3.3 工件的夹紧	78
2.4.2 工件定位基准的选择	31	3.3.1 典型夹等机构	78
2.5 机械加工工艺规程的拟定	35	3.3.2 夹紧机构的设计原则	83
2.5.1 表面加工方法的选择	35	3.3.3 夹紧力的确定	84
2.5.2 加工阶段的划分	39	3.4 夹具的对定	85
2.5.3 工序集中与工序分散	40	3.4.1 引导装置	85
2.5.4 加工顺序的确定	41	3.4.2 对刀装置	88
2.6 机械加工余量的确定	42	3.4.3 分度装置	89
2.6.1 加工余量的基本概念	42	3.4.4 夹具在机床上的定位	91
2.6.2 影响加工余量大小的因素	44	3.5 典型夹具	93
2.6.3 确定加工余量的方法	45	3.5.1 车床、圆磨床夹具	93
2.7 工序尺寸及公差计算	46	3.5.2 钻床、镗床夹具	93
		3.5.3 铣床夹具	95
		3.6 夹具设计的方法与步骤	97
		3.6.1 设计前的准备工作	97

3.6.2 拟定夹具总体方案	98	5.4.3 主要工序的工艺分析	165
3.6.3 绘制夹具装配草图	100	5.5 丝杠加工	167
3.6.4 绘制夹具的装配图	102	5.5.1 概述	167
3.6.5 夹具精度验算	104	5.5.2 丝杠加工工艺分析	168
3.6.6 绘制夹具零件图	104	5.5.3 主要工序的工艺分析	172
第四章 尺寸链原理及其应用	107	5.6 齿轮加工	176
4.1 概述	107	5.6.1 概述	176
4.1.1 尺寸链的定义和组成	107	5.6.2 圆柱齿轮加工工艺分析	178
4.1.2 尺寸链分类	108	5.6.3 主要工序的工艺分析	182
4.2 尺寸链的解法	109	第六章 机械加工精度	191
4.2.1 尺寸链的计算方法	109	6.1 概述	191
4.2.2 尺寸链计算的基本公式	110	6.1.1 加工精度和加工误差	191
4.2.3 尺寸链计算的基本公式应用		6.1.2 获得加工精度的方法	191
实例	116	6.1.3 产生加工误差的主要原因	193
4.3 工艺尺寸链	117	6.2 工艺系统的几何误差	193
4.3.1 基本概念	117	6.2.1 原始误差	193
4.3.2 工艺尺寸链的建立	118	6.2.2 机床的几何误差	194
4.3.3 工艺尺寸链计算实例	120	6.2.3 刀具、夹具的制造误差及工	
4.4 装配尺寸链	131	件的安装误差	203
4.4.1 基本概念	131	6.2.4 调整误差	203
4.4.2 装配尺寸链的建立	132	6.2.5 提高加工精度的技术措施	203
第五章 典型零件加工	135	6.3 工艺系统的受力变形	205
5.1 轴类零件加工	135	6.3.1 基本概念	205
5.1.1 概述	135	6.3.2 工艺系统刚度	206
5.1.2 轴类零件加工工艺分析	136	6.3.3 工艺系统受力变形	212
5.1.3 主要工序的工艺分析	141	6.3.4 减小工艺系统受力变形的技	
5.2 套类零件加工	147	术措施	219
5.2.1 概述	147	6.4 工艺系统的热变形	222
5.2.2 套类零件加工工艺分析	148	6.4.1 概述	222
5.2.3 主要工艺的工艺分析	151	6.4.2 机床热变形对加工精度的	
5.3 箱体类零件加工	152	影响	223
5.3.1 概述	152	6.4.3 刀具热变形对加工精度的	
5.3.2 箱体零件加工工艺分析	154	影响	225
5.3.3 主要工序的工艺分析	159	6.4.4 工件热变形对加工精度的	
5.3.4 镗孔误差分析	161	影响	226
5.4 机体类零件加工	162	6.4.5 减小工艺系统热变形的技	
5.4.1 概述	162	术措施	227
5.4.2 机体零件加工工艺分析	163	6.5 工件的内应力变形	229

6.5.1 内应力引起的误差	229	8.2.1 精密磨削加工原理	290
6.5.2 减小工件内应力变形的技术措施	231	8.2.2 影响精密磨削加工的主要因素	291
6.6 机械加工误差的综合分析	233	8.2.3 磨削用量的选择	292
6.6.1 系统性误差和随机性误差	233	8.2.4 机床条件	292
6.6.2 加工误差的统计分析法	234	8.3 超精加工	293
6.7 提高机械加工精度的途径	249	8.3.1 超精加工原理	293
6.7.1 减小原始误差的技术措施	249	8.3.2 超精加工的特点	293
6.7.2 减小加工过程及最终误差的技术措施	251	8.3.3 影响超精加工质量和生产率的主要因素	294
第七章 机械加工的表面质量	254	8.4 珩磨	294
7.1 概述	254	8.4.1 珩磨原理及特点	294
7.1.1 表面质量的含义	254	8.4.2 珩磨头的结构	295
7.1.2 表面质量对产品性能的影响	254	8.4.3 珩磨磨条、珩磨余量和工艺参数的选择	296
7.2 表面粗糙度	256	8.5 研磨	297
7.2.1 切削加工表面粗糙度	256	8.5.1 研磨原理	297
7.2.2 磨削加工表面粗糙度	258	8.5.2 研磨方法	298
7.3 机械加工的表层	261	8.5.3 研磨套材料的选择	299
7.3.1 冷作硬化	261	8.5.4 研磨剂	300
7.3.2 加工表面的金相组织变化和磨削烧伤	263	8.5.5 研磨用量	300
7.3.3 表面金属的残余应力	268	8.5.6 超精研磨	300
7.4 提高表面质量的技术措施	270	8.6 无屑光整加工	301
7.4.1 控制磨削参数	271	8.6.1 滚压加工	301
7.4.2 表面质量的检查	271	8.6.2 金刚石压光	303
7.5 机械加工中的振动	273	第九章 机器装配	305
7.5.1 基本概念	273	9.1 概述	305
7.5.2 机械加工过程中的强迫振动和自激振动	274	9.1.1 基本概念	305
7.5.3 机械加工过程中的振动现象及其控制途径	281	9.1.2 机器零、部件之间的联接方式	305
第八章 精密加工与光整加工	287	9.1.3 装配工艺过程及装配的作业组织形式	306
8.1 精密切削加工	287	9.2 机器的装配精度	307
8.1.1 精密车削	287	9.2.1 概念	307
8.1.2 高速精镗(金钢镗)	287	9.2.2 装配精度与零件加工精度的关系	309
8.1.3 浮动镗及拉镗	289	9.3 保证装配精度的装配方法	309
8.2 精密磨削加工	290	9.3.1 完全互换法	310

9.3.2 部分互换法	311	10.2.2 成组技术的分类方法和工 艺准备工作	341
9.3.3 选配法	312	10.2.3 成组技术的生产组织形式 及其优越性	343
9.3.4 修配法	314	10.3 机械加工过程的优化	345
9.3.5 调整法	317	10.3.1 机械加工过程优化及其评 定指标	345
9.4 装配方法的选择	319	10.3.2 优化的数学模型和应处理 的问题	346
9.5 装配工艺规程的制订	322	10.3.3 单工序机械加工过程的 优化	347
9.5.1 制订装配工艺规程的内容 和基本原则	322	10.3.4 多工序机械加工过程的 优化	351
9.5.2 制订装配工艺规程的原始 资料	322	10.4 计算机辅助制造系统	352
9.5.3 制订装配工艺规程的方法与 步骤	323	10.4.1 CAM中利用计算机管理的 分级结构	352
9.5.4 制订装配工艺规程的实例	325	10.4.2 计算机在制造系统中的 应用	352
9.6 典型部件的装配	328	10.4.3 CAM的数据库	354
9.6.1 圆柱齿轮传动副的装配	328	10.4.4 计算机辅助编制工艺规程	354
9.6.2 滚动轴承的装配	329	10.4.5 计算机辅助编制数控程序	357
9.6.3 滑动轴承的装配	330	10.5 柔性制造系统	359
9.6.4 螺纹联接件的装配	331	10.5.1 概述	359
第十章 机械制造的新发展	333	10.5.2 柔性制造系统的构成	360
10.1 特种加工	333	10.5.3 柔性制造系统的发展前景 与应用状况	361
10.1.1 概述	333	10.5.4 柔性制造系统的应用实例	362
10.1.2 电火花加工	334	参考文献	365
10.1.3 电解加工	335		
10.1.4 电解磨削	336		
10.1.5 超声波加工	337		
10.1.6 激光加工	339		
10.2 成组技术	340		
10.2.1 基本概念	340		

第一章 总 论

1.1 国内外机械制造业的发展

机械工业是为国民经济各个部门提供现代化技术装备的工业。对任何国家来说,机械工业都是一个很重要的工业。不论电子技术、计算机、自动化、新材料、新能源等方面的新技术如何发展,都淘汰不了机械工业,它们也不能互相代替,并且任何其它新技术还得靠机械工业来发展。同样,机械工业也得靠这些新技术来改进机械产品和生产方式。

机械制造业既直接反映工业生产的技术水平和能力,又集中运用了当代科学技术的新成果。所以,机械制造发展的水平是衡量一个国家科学技术发展水平的重要标志。

我国机械制造具有悠久历史,是世界上最先应用机械作为生产工具的国家。公元前2000年左右,我国就制成了生产丝织品的纺织机械;公元前1000多年,我国就出现了世界上最早最完善的运输工具。13世纪至14世纪初,我国已能制成整套的纺织机械和远渡海洋的大船。我国除世人皆知的造纸、火药、指南针、印刷术四大发明外,其实还有很多发明,例如指南车、记里鼓车、天文仪器“水运浑天仪”、地震仪器“候风地动仪”等。我们的祖先不仅发明和制造了各种机械,在机械制造方面也写下了光辉的史页。公元前500多年我国就有钻削工艺;8世纪末我国已使用简单的金属切削机床;到了16世纪我国已懂得采用铣削、磨削、研磨等工艺,并相应出现了镶片式刀具、刃磨铣刀片的工具等等。大约在公元前3000年我国就有了冶炼工艺,到了公元前1300年我国的炼铜和铸铜技术就有了很大发展。我国开始用铜的时间虽然比外国晚,但我们首创了举世闻名的青铜技术。我国开始用铁的时间虽然也比外国晚,但后来我们发明的生铁却比外国早1800年,发明的可锻铸铁比外国早2100年,发明用生铁炼钢比外国早1750年。生铁的发明和使用,对我们中华民族的发展和世界人类的文明都作出了重大的贡献。

数学、力学、天文学的产生和发展,促进了机械、冶炼、造船等工程技术的发展。我国伟大的数学家、天文学家祖冲之发现圆周率 π 在3.1415926和3.1415927之间,外国数学家在他死后1000多年才找到这个数字;他测定的阳历年的长度为365.242281481日,与真长度只差50秒;在机械方面还发明了千里船、指南车、水力机等多种机器和仪器。我国大发明家张衡,最重要的两大发明是浑天仪和地动仪,他的科学成就在当时的世界上是没有一人能和他相比的。

可以说,我国古代的科学技术在世界上一直处于领先地位,但由于封建社会延续过长,长期闭关自守,只抓文学不抓科学,所以在前三次产业革命或两次浪潮中已大大落后了。许多国家由落后变为先进,大大超过了我们国家。

国外机械制造业的迅速发展,是从1765年英国瓦特发明蒸汽机开始的,当时为了制

造蒸汽机，相继出现了各种金属切削机床，此后才真正形成了机械制造业。当时英国是发展机床最早的国家，18世纪60年代至19世纪中，英国的机床技术一直在世界上居于领先地位。1825年英国创立了用三块铸铁平板交互研配的原理，制成了世界第一块基准平板，奠定了制造机器零件的几何平面的基础。1841年又第一次制订了螺纹标准；1856年制成了以比较测量法为原理的测长机。螺纹标准的建立和测量技术的发展，结束了当时机械加工中的混乱状态，对世界机械制造业的发展和机床精度的提高起了重大作用。因此，英国机床技术在当时世界上处于绝对优势地位。但在19世纪60年代以后，美国机床技术迅速发展，逐步取代了英国机床的垄断地位。

美国机床的发展比英国约晚半个世纪，但后来居上。由于在机械制造大量生产技术方面，美国研究了零件互换性问题，制订了公差标准，开创了互换性零件的大量生产方式，所以就要求机床具有更高的精度和效率。因此，美国大力发展了一些不同于英国风格的、精度和效率都较高的机床和工具。“游标”的原理是法国人1631年发明的，但经过220年之后，才被美国人重视和应用，制成了游标卡尺；1848年法国人又发明了千分尺，但经过19年之后又被美国人发现，很快就作为商品正式生产。1892年美国开始使用人造磨料，使各种磨床的应用更加完善了；1898年美国人发明了高速钢刀具材料，对于当时机床技术的发展起了重要作用，促使机床设计全部更新。20世纪初以来，美国机床技术，尤其是高效率 and 自动化技术方面，继续在上世界上领先。

20世纪初，德国的采矿、动力和船舶等工业就已比较发达，因此，德国机床技术最大特色是发展重型机床。第一次世界大战后，当时世界上最大的立式车床、最大的龙门刨床、最大的镗床、最大的滚齿机、最大的车床等几乎都是德国的产品。然而在本世纪初，德国机床产品基本上还都是引进美国机床技术和仿制美国产品。1918年德国战败后，为了重新打入国际市场，全部更新了战前机床产品的设计，并系统制订了德国工业标准(DIN)，特别是机床精度标准，这在世界上是创举。许多国际标准往往是参考德国工业标准而制订的。1926年德国把发明的硬质合金刀具公诸于世，不久就传遍世界各国。硬质合金材料的发现，不仅是刀具材料的重大进步，而且对机床技术的发展和机床结构的进一步变革起了重要作用。1928年硬质合金刀具从德国传到美国，使美国机床继续沿着提高切削速度和精度，加大机床刚度和功率的方向发展。

19世纪后期瑞士首先制成了一台500毫米的长刻线机，后来经过改进，提高其刻线精度，为巴黎国际度量衡局刻制了标准米尺；1900年制成了直径2米的圆刻线机。瑞士的钟表闻名于世，在长期的生产实践中，培养出精密技艺的特长。瑞士机床技术的特色是大力发展精密机床，主要生产仪表机床为钟表工业服务，同时还生产各种精密工具和仪器。总之，瑞士的精密机械制造业很发达。

第二次世界大战结束时，日本机械工业的技术水平比欧美落后约10~20年。当时美、日机械工业总产值之比为59:1，到1975年缩小为4:1，现在美日间的差距不仅更为缩小，而且在不少领域日本已走在美国的前面。例如数控机床和机器人的技术，原先都是从美国引进的，但现在二者的产量和拥有量都已超过美国。

苏联、东欧、西欧等许多工业发达国家的机械制造业也都很发达，并且各有其特色。

旧中国谈不上有自己的机械工业，各种机械产品都要依靠进口。新中国经过40年来的努力，机械工业突飞猛进，从无到有，从小到大。现在我国已基本形成了比较独立完整的机械制造工业体系，已能自行设计制造各种精密的、大型的和成套的机械产品，不仅能基本满足国内需要，而且许多机械产品已逐步进入国际市场。虽然我国机械工业取得了很大成绩，但同工业发达的国家相比，不论在技术水平、生产能力、经济效益和管理水平等方面，都仍然存在很大的差距，不能适应国民经济发展的需要。

1.2 机械制造技术的进步

为了能向国民经济各部门提供各种现代化的重型、超重型设备，就必须重视发展重型、超重型机械制造能力。它是指从毛坯到成品的一整套制造能力，包括大件的铸造、锻造、焊接、热处理、机械加工、装配、检验、试验和起重运输等各个环节。其中重型、超重型的锻造设备和金属切削机床被认为是重型、超重型机械制造中的关键设备。19世纪时，锻造只靠自由锻锤，其吨位随锻件的增大而增大。到19世纪末，自由锻锤已发展到最大，美国曾有125吨的巨型锤。后来由于锻造水压机的出现，大锻锤很快就被水压机所替代。20世纪以来自由锻锤便由大到小，已降到10吨以下，目前国外已基本上不生产5吨以上的自由锻锤了。目前世界上万吨以上水压机也不过20多台，其中较大的有苏联的7.5万吨模锻水压机。为锻造钛合金航空锻件，苏、美都在研制20~40万吨的模锻水压机。至于重型机床，一向认为是西德、苏、美等国制造能力较强。国外为加工直径42米、长20米、重500吨的大型透平转子，已制成超重型卧式车床；为加工直径11米、高10米、重250吨的原子能容器，已制成超重型加工中心机床；为加工重达1350吨的200万瓩电站汽轮机零件，已制成超重型移动式龙门数控铣床；还有加工直径达6米的普通车床、加工直径26米的立式车床、加工直径15米的滚齿机、5米×29米的龙门刨床、12米×25米的龙门铣床等。

精密、超精密加工是制造精密尖端产品所不可缺少的，是出口机械产品由低档向高档发展的需要，因此，各工业发达国家对此都特别重视。自从金属切削机床问世以来，机械加工精度提高了五个数量级，各个时期所能达到的最高加工精度（即最小加工误差）如下：

18世纪后期达到	1毫米；
19世纪中达到	0.1毫米；
20世纪初达到	0.01毫米；
30年代达到	0.001毫米(=1微米)；
50年代达到	0.0001毫米(=0.1微米)；
60年代达到	0.00001毫米(=0.01微米)；
现在努力的目标为	0.000001毫米(=0.001微米)。

从历史上看，加工精度的每一次提高，都是由于当时出现了新的加工手段和测量控制手段，现在科学技术虽然日新月异，但是要想从0.01微米提高到0.001微米(=1纳米)，那是很不容易的事，超精密的加工手段和测量控制手段都还有待创新和掌握。过去有亚毫米(<1毫米)的加工尺寸，其加工精度达0.01微米级，甚至达更高精度；而现有亚微米

(<1 微米)的加工尺寸,其加工精度达到 0.001 微米($=1$ 纳米)级。精密、超精密加工与测量都应在恒温室里进行。一般的恒温室只控制在 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 至 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$;先进的恒温室为 $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 至 $20 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$;高水平的恒温室为 $20 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 至 $20 \pm 0.01^{\circ}\text{C}$;目前最高水平是美国Baush & Lomb公司光栅实验室,温控可达 $20 \pm 0.0056^{\circ}\text{C}$ 。国外精密机床中,目前较高精度的是瑞士的坐标镗床、万能螺纹磨床、齿轮磨床、高精度外圆磨床、高精度平面磨床、高精度车床等;美国的坐标磨床、镜面车床等;日本的高精度平面磨床、高精度车床等;英国的高精度丝杠车床;西德的高精度滚齿机;东德的高精度刻线机。各工业发达国家在精密、超精密加工与测量方面做了大量研究工作,已达到很高水平。

随着现代科学技术的发展,各种高强度、高硬度、难加工的特殊新材料不断出现,许多技术部门也出现了具有各种各样难加工的形状和结构的零件。这些新材料和新结构由于受到传统的机械加工方法的限制,未能广泛应用到现代机器上。由于传统切削加工,一般只有在切削刀具本身硬度高于工件硬度时才能实现。为了能顺利加工特硬、特韧、特脆的材料,特薄、特形的零件,各国都在积极发展特种加工技术。特种加工不仅适用于上述场合,现在有不少国家还将它用于一般零件的加工。直到1943年苏联人发明电火花加工以前,都属于传统的机械加工方法。现在已出现各种各样的特种加工方法,例如化学加工、电化学(电解)加工、光化学腐蚀加工、电蚀加工(电火花加工、电脉冲加工、电弧加工、阳极机械加工等)、电热加工、超声波加工、高能成形及高能粒子加工(电子束加工、离子束加工、激光加工、等离子加工等)以及各种复合加工工艺。从目前看,在特种加工中,以电火花加工和电解加工占主要地位。在超精密加工中,由于切屑薄到无法用传统的精密加工方法所能切除下来,所以必须采用能实现以分子、原子为加工单位的特种超精密加工方法。

自动化的发展已有很长历史,第二次世界大战后,自动化技术的发展比以往任何时候都更为迅速。现代机器制造过程自动化是和电子计算机的发展分不开的。自从1945年出现世界上第一台电子计算机以来的40多年时间内,计算机已经历了五代(电子管、晶体管、小规模集成电路、大规模集成电路、非诺曼型)。前四代的基本设计思想一直属于继承美籍匈牙利数学家诺曼的“诺曼型计算机”,第五代的设计思想完全不同,它属于“非诺曼型计算机”。第五代计算机在运算过程中用不着向主存贮装置存取数据,许多运算能同时进行,因此运算速度飞跃提高;它所采用的语言是程序加逻辑语言,与现用的算法语言是根本不同的,它是一种尽可能接近于人的自然语言的仿真语言;这种计算机和人一样能看、听、说、理解语言和思考问题。世界上第一台电子计算机用了18000个电子管,重达30多吨,占地150平方米,运算速度仅为每秒5000次,可靠性和稳定性都很差。现在一台微型计算机可做在一块几平方毫米的硅片上,其运算速度可达每秒10万次,重量只有几十克,既可靠又稳定。甚至有人大胆思考:一台计算机能否就做一个“分子”上?因为一个“生物分子”能贮存六亿位遗传信息,能否被利用来作计算机的存储设备?计算机的发展历史虽然不长,但其发展速度实在惊人。美、日已制成的巨型计算机,其运算速度都已提高到每秒10亿次。国外今后的目标是计划研制运算速度达到每秒1000亿次。

电子计算机的发展,促进了数控机床、数控加工系统、管理系统的发展。出现了计

计算机数控(CNC)、直接数控或计算机群控(DNC)、机械加工中心(MC)、适应控制(AC)、计算机辅助设计与辅助制造(CAD/CAM)、计算机辅助工艺规程设计(CAPP)、柔性制造单元(FMC)、柔性自动线(FML)、柔性制造系统(FMS)、集成制造系统(IMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、管理信息系统(MIS)、无人化制造系统(UMS)以及无人化车间、无人化工厂等。

电子计算机的发展,促进了机器人的发展。在计算机、控制论、仿生学、生物学、心理学等学科基础上发展起来了仿人智能的控制系统。国外非常重视人工智能的研究,称人工智能是自动化是尖端技术,是现代三大技术(原子能、空间技术、人工智能)之一。人工智能是自动化和仿生学的最高发展,也是今后科学技术发展的主要方向之一。随着计算机的发展,机器人的发展已经历了三代:简单机器人、工业机器人、智能机器人。智能机器人是典型的仿人智能控制系统,它的推广应用将会使自动化发展到一个更高的阶段。智能机器人具有“眼”、“耳”、“触觉”、“脑”,能自己判断、自己行动,能达到穿针引线的地步。机器人可用于高温、高压、有毒、辐射等恶劣危险环境工作,而且它不知疲倦。遥控机器人可下海、可登月。国外有服兵役的机器人,有装配机器人、焊接机器人、消防机器人等。到2000年,在城市、田野、海里、天上到处都会有机器人,还将出现机器人自己制造机器人。日本是1967年从美国引进机器人技术,可是现在日本的机器人不论产量和拥有量都已超过美国,成为机器人王国。

机器人是人类各种最新技术的结晶。欧美一些国家把机器人的应用,称为“第三次产业革命”的标志。机器人的发展促进了机械设计与制造的发展。机器人对多自由度机构的分析与综合、传动系统的精确性与稳定性、机构工作的可靠性、特殊的材料及其加工等方面,都提出了越来越高的要求,这将促使机械设计与制造技术的迅速发展与进步。

1.3 机械制造职业教育的重要性

世界上凡是发达国家都是重视办好教育,发展教育才能发展科技,教育发达才能强国富民。要想发展经济,必须提高劳动生产率,其关键是提高职工的素质。因此,在教育体制改革中,必须把职业教育放在极重要的位置。为了振兴我国的机械制造业,不断提高机械产品质量,提高机械制造行业劳动生产率,降低成本,争取更多机械产品打入国际市场,就必须大力发展机械制造职业教育。

职业教育在德国已有200多年的历史。战败后的联邦德国,把职业教育作为重建国家发展经济的重要部分,受到特别重视。职业教育被称为西德经济突飞发展的“秘密武器”。西德全国从学徒培训、职业中学、中等专科学校到高等专科学校,早已形成了一个完整的职业教育体系。在西德不仅普及了普通教育,而且也普及了职业教育,大大提高了全民族职工的技术和职业素质,这对西德能始终保持经济实力具有决定性意义,是德国经济发展的柱石。西德的职业教育共分十三大类、451个专业。普通中学毕业生均应选择一个专业接受职业教育,并实行“双轨制”教育形式,即企业与职业学校结合。学生既是企业的学员,又是职业学校的学生,企业负责培养实践技能,职业学校负责讲授理论知

识, 必须经过严格的理论和实践的考试, 每个学生毕业前必须独立完成一件有相当难度的产品。政府规定所有企业都必须按规定建立职业教学车间, 专门用于职业培训。不经过职业教育, 不容易就业; 不具有一定的职业劳动技能, 不能进入劳动生产岗位。西德双轨制职业教育的社会化, 对西德成为经济强国产生了巨大影响。为了使接受职业教育的学生有进一步发挥才能的机会, 西德规定职业教育毕业的学生, 经过几年实际工作, 允许报考技师; 如继续努力, 通过考试, 可以成为工程师或企业及有关部门的领导者, 或进入大学进一步深造。总之, 谁想争取更高学历, 发挥更大才能, 均不受限制。

1.4 《机械制造工艺学》的学习要求

本课程是机械制造工艺与设备专业的重要专业课之一, 是培养本专业中高级技术人员不可缺少的专业知识。在其它基础课、技术基础课和专业课的学习基础上, 要求修完本课程和作完课程设计之后, 争取初步达到“五会”:

- 1) 会分析零件和产品的技术条件, 提出合理的修改;
- 2) 会根据工厂的生产条件, 审查零件的结构工艺性, 提出合理的修改;
- 3) 会制订零件的机械加工工艺规程; 其中抓住三个关键问题:
 - (1) 选择合理的加工方法;
 - (2) 正确选择定位基准, 确定合理的加工顺序;
 - (3) 确定合理的加工余量、工序尺寸及公差。
- 4) 会设计专用工艺装备;
- 5) 会分析生产中出现的质量问题, 提出解决措施。

思考与练习

- (1) 你认为我国机械制造业应如何赶超各工业发达国家?
- (2) 你准备怎样为提高我国机械制造技术水平做出贡献?
- (3) 你对我国发展职业教育有何认识和建议?
- (4) 你准备怎样学好本课程? 有没有信心初步达到“五会”?

第二章 机械加工工艺规程的制订

2.1 基本概念

2.1.1 机械加工工艺规程的概念

在机械制造业中,要生产一种产品,必须进行一系列的工作。其中包括:生产准备、技术准备、原材料及其外购件的准备、毛坯制造;零件的机械加工、冲压、焊接、热处理、表面处理;产品的检验、装配、试验、油漆、包装;零件产品的运输和保管以及生产服务等。这一系列过程总称为生产过程,即从原材料或半成品转变成成品的全部过程。

在整个生产过程中,直接使原材料或毛坯的形状、尺寸、表面状态和内部组织发生预期改变的过程,称为加工工艺过程。如铸造车间将金属铸成毛坯或零件的过程,称为铸造工艺过程;冷冲压车间将板料冲压成零件的过程,称为冲压工艺过程。

所谓机械加工工艺过程是指毛坯经过车、刨、钻、铣、磨等各种机械加工,不断改变其形状和尺寸,提高精度和表面质量,并通过检验而成为合格成品的过程。根据需要有时将热处理亦包括在机械加工工艺过程内。

一个零件往往可能采用不同的加工工艺过程进行加工。工艺人员从几种不同的方案中,采用在具体生产条件下最合理的一种,将其工艺过程各项内容写成文件,用来指导生产和组织生产,这就是该零件的机械加工工艺规程。

2.1.2 生产纲领及生产类型

工厂每年需生产产品的数量(包括备品和废品在内)称为该产品年生产纲领。生产纲领的大小,对工艺规程的制订有很大影响,表2.1是生产类型与生产纲领的关系。

根据生产纲领的大小和产品品种的多少、批量及投入产生的连续性,主要可分成三种不同的典型生产类型:单件生产;成批生产;大量生产。

表2.1 生产类型与生产纲领的关系

生产类型	同 零 种 件 的 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	5~100	20~200	100~500
中 批 生 产	100~300	200~500	500~5000
大 批 生 产	300~1000	500~5000	5000~50000
大 量 生 产	>1000	>5000	>50000

1) 单件生产

单件生产是指单个地生产不同结构、尺寸的产品，很少重复。例如，重型机械产品制造和新产品试制等都属于单件生产。

2) 成批生产

成批生产是指一年中分批地制造相同产品，生产呈周期性重复。例如，机床制造、电机制造等多属于成批生产。

3) 大量生产

大量生产是指产品数量很大，大多数工作地点长期进行某一零件的某一道工序的加工。例如，汽车、自行车、轴承等多属大量生产。

应当指出：在一个工厂内，甚至同一个生产车间内，也可能存在不同的生产类型，例如，有的零件是成批生产，而另外一些零件是大量生产。

生产类型不同，产品制造工艺方法、所用设备和工艺装备以及生产组织均不相同。表2·2是各种生产类型的工艺特点。

表2·2 三种生产类型的工艺特点

生产类型	单件生产	成批生产	大量生产
1. 产品品种及数量	产品品种多，数量很少，不重复或很少重复生产	产品品种较多，数量多，周期地成批投入生产	产品品种少，数量很多，每台机床经常用于一种零件的一个工序的加工
2. 毛坯制造方法与加工余量	木模手工造型或自由锻造，毛坯精度低，加工余量大	部分用金属模或模锻，毛坯精度及加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、模锻或其它高效方法，毛坯精度高，加工余量小
3. 互换性原则的采用	配对制造，无互换性，广泛采用钳工修配	普遍具有互换性，保留某些试配	全部互换，某些高精度配合件采用分组选择装配、配磨或配研
4. 机床设备及其调整	通用设备，个别采用专用设备，工件用试切法加工	通用机床及部分采用高生产率的机床和专机，较少采用试切法，工件一般在调整好的机床上加工	广泛采用高生产效率的机床和专机，如自动机床、半自动机床、组合机床及自动线等。工件在调整好的机床上加工
5. 夹具	通用夹具或划线安装	广泛采用专用夹具和通用夹具	高生产率的专用夹具
6. 刀具和量具	一般刀具和标准量具	专用的和标准的刀具及量具	高生产率的专用刀具和专用量具
7. 对工人技术要求	需要技术熟练的工人	需要具有一定熟练技术的工人	操作工人的技术要求一般，调整工要求技术熟练
8. 编制工艺规程的要求	只编简单的工艺过程卡	有较详细的工艺规程，对关键零件有详细的工序卡片	详细编制工艺规程及工艺文件
9. 生产率	低	中	高
10. 成本	高	中	低
11. 发展趋势	箱体类复杂零件采用加工中心加工	采用成组技术，由数控机床或柔性制造系统等进行加工	在计算机控制的自动化制度系统中加工，并可能实现在线故障诊断、自动报警和加工误差自动补偿

2.2 机械加工工艺规程

工艺规程是指导施工的技术文件，是决定工厂和车间各组成部分在生产上内在联系。

2.2.1 制订工艺规程的作用

1) 工艺规程是指导生产的依据

合理的工艺规程是理论与实践结合的产物。它以广大工程技术人员及工人的实践为基础，并依据工艺理论经常通过实践加以改进。按照工艺规程进行生产，可保证产品的质量和提高劳动生产率。

2) 工艺规程是组织和管理生产的基本依据

由工艺规程涉及的内容可知，在产品投入生产前，必须根据工艺规程进行有关的技术准备和生产准备工作。例如，安排原材料及毛坯的供应，机床负荷的调整，工艺装备的设计与制造、劳动力的组织，作业计划的编排以及经济核算等。

3) 工艺规程是新建或扩建工厂的基本资料

新建或扩建工厂时，要根据工艺规程来确定生产所需的设备品种及数量、车间面积、机床布置、辅助部门的安排等。对大批大量生产的工厂，要按工艺规程详细计算；对单件小批生产的工厂，由于产品品种多数量少，品种又常常变化，可用综合多种产品的工艺规程大致推算。

2.2.2 工艺过程的内容

工艺规程是工业企业最高要求的技术文件之一。要制定合理的工艺规程，首先须了解工艺过程的组成，并将工艺规程的内容填入一定格式卡片，即成为生产准备和施工依据的工艺文件。目前，工艺文件没有统一的格式，各企业都是根据零件的复杂程度和生产类型自行确定卡片，但其要求和内容大致相同。

1) 工艺过程的组成

(1) 工序 工艺过程的基本单元。零件的机械加工工艺过程一般由若干个按一定顺序排列的工序组成。工序是指一个(或一组)工人，在一台机床(其它设备或工地)上，对一个(或同时对几个)工件所连续完成的那部分工艺过程。

工艺过程划分为若干个工序，一方面由于零件有许多不同形状和不同精度的表面，而这些表面(甚至同一个表面)加工往往不是一台机床上所能胜任的；另一方面划分工序可以提高生产率和降低成本。

图2.1所示是阶梯轴零件图。若小批量生产，可在一台普通车床上完成全部加工，整个加工只需要一道工序。若大批量生产，就需要在三台机床上分别进行铣端面打中心孔、车一端阶梯、调头车另一端阶梯，这样该零件的加工就需要三道工序了。若工件从机床上取下，在钳台上手工打毛刺，则为四道工序。

总之，一个工序包括的内容可能很复杂也可能很简单；可能自动化程度很高，也可

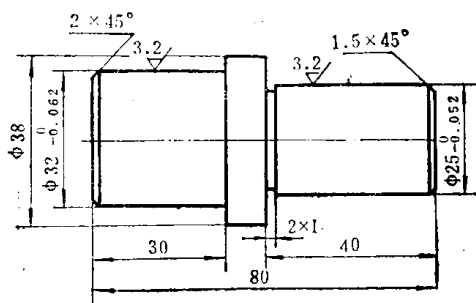


图2·1 阶梯轴零件图

能是简单的手工操作。工件总是按工序由一台机床(或工作位置)送到另一台机床(或工作位置)顺序地进行加工。因此,工序不仅说明加工阶段性的规律,同时还是组织生产、管理生产的主要依据。

工序可包括安装、工位、工步、走刀等。

(2)安装 工件在机床上装夹一次所完成工序中的一部分。

在一道工序内可以包括一次或几次安装。如图2·1所示,阶梯轴零件在一台机床上加工的情况,表明了一道工序中包括两次安装。

应该注意,在每一道工序中,安装次数应尽量减少,以免影响加工精度和增加辅助时间。

(3)工位 为了减少安装次数,当应用转位(或移位)加工的机床或转位加工的夹具进行加工时,在一次安装中,工件(或刀具)相对于机床有几个不同的位置。每一个工作位置上所完成工序中的一部分,称为工位。图2·2所示为一回转工作台在一次安装中顺次完成装卸、钻孔、扩孔、铰孔四工位加工的实例。采用多工位加工,可减少安装次数,缩短辅助时间。

(4)工步 一次安装中,在工件的加工表面和切削刀具及切削用量(不包括切削深度,仅指主轴转速和进给量)均保持不变的那部分工序内容。凡用几把刀具同时进行加工一个零件的工步称为复合工步。如图2·3所示,在六角车床上用前刀架进行径向进给来切端面2、4及用六角刀架车外圆1、3和镗孔5,即为复合工步的例子。采用复合工步可大大提高劳动生产率。

(5)走刀 指在同一个工步中,因余量需要分几次切除,那么刀具每切削一次就算一次走刀。一般情况下,工序卡中不必将工步再细分出走刀来,但对某些易变形的薄壁零件,则有必要特意注明走刀次数,甚至规定各次走刀的切削用量。

2) 工艺文件

(1)机械加工工序卡(简称工序卡) 也称操作卡片,是用来具体指导生产工人进行操作的一种文件(见表2·3)。它是根据工艺卡每道工序而编写的,是详细记载该工序加工所必须的工艺资料。如在卡片上绘有工序简图,注明定位基准的选择,工件的安装方法,工件和各加工表面的工序尺寸及公差,并写明各工序的次序和内容、粗糙度、技术要求,以及机床、刀具、量具、切削规范、工时定额以及所使用的设备和工艺装备等。一般大批量生产或零件很复杂才制定工序卡。

(2)检验工序卡(简称检验卡) 产品或零件进行技术检查时的指导文件,见表2·4。其主要内容有:

- ①检验项目的名称、尺寸及公差、技术要求;
- ②检验用量具、规格和精度等级;
- ③检验数量的百分比(抽检或全部检查);
- ④检验工序图,表示定位方式、测量方法和操作要求等。