

机械制造技术

(第2版)

● 主编 张兆隆

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等职业教育工学结合项目建设成果系列教材

机械制造技术

(第2版)

主 编 张兆隆

副主编 李海涛

参 编 孙志平 孙建莉 董建荣

王增春 张 勇 张敬芳

娄海汇

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以机械加工工艺的**实施与制定**为主线,围绕典型生产性零件,按照“以机械加工工艺的**实施与制定**等岗位的关键能力培养为导向,以职业技能形成和企业融合为重点,实践双证书制度”的设计思想,构建以“**轴类零件制造**”“**箱体类零件制造**”“**齿轮类零件制造**”“**机械制造装配**”为主体的专业课程结构,在核心课程的教学模式上,将教、学、做融为一体并到企业实际产品生产岗位上完成,学生的学习活动全程参与企业生产活动。本书的内容包括机械制造工艺的基本知识、轴类零件制造、箱体类零件制造、圆柱齿轮制造、机械制造质量分析、机械装配、机械零件的精密加工、机械零件的特种加工及先进制造方法等。

本书可作为高职院校机械制造与机械类专业群的教材,也可作为机电一体化专业教材,亦可供从事机械制造的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械制造技术/张兆隆主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社,2019.9(2019.10重印)

ISBN 978-7-5682-7668-9

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制造工艺 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第222721号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/唐山富达印务有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/21

字 数/493千字

版 次/2019年9月第2版 2019年10月第2次印刷

定 价/52.00元

责任编辑/莫莉

文案编辑/莫莉

责任校对/周瑞红

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

本书是按照“工学结合”的总体思路，根据培养目标要求加强学生工艺能力培养，使毕业生掌握机械加工的基本技能，在具备现场工艺实施能力的基础上，达到从事工艺制定与实施的基本能力。全面推行职业资格证书与教学内容相融合的模式，将职业资格证书要求的“应知”“应会”内容融入教学体系与教学内容中。教学建议围绕岗位技能培养开展，以任务驱动、项目导向方式设计教学组织体系，以理论与实践教学一体化的教学模式完成教学过程。教材本着“实际、实用、实效”的原则，突出基本概念、基本原理、基本方法和基本训练，力求做到结构合理、内容充实、文字精练、深入浅出，以项目为载体、以岗位职业能力为主线、以课程核心技能知识进行单元划分来构建课程教学实施流程。在课程教学实施过程中，根据每个加工项目的知识目标、技能目标及实践训练内容的教学要求进行组合，教学过程中结合具体零件，分别将图样分析，工艺分析，刀、夹具技术与应用技术测量等按教学单元组织教学，一个具体零件教学结束后再进行下一个零件的教学。项目二、三、四将典型加工项目，以工艺制定与实施核心技能为主线安排项目课程教学实施。

本书将职业资格、岗位能力要求的重点内容有机融入其中，突显职业教育的技能培养特色，具有以下特点。

(1) 综合性。对机械加工工艺知识理论及技能需求进行了有机的处理，体现了多方位知识的相互交叉和融合，突出综合职业能力的培养。

(2) 实用性。本书面向机械类专业群的岗位和岗位群职业能力的要求，确定课程的结构和内容，所涵盖的知识具有很高的实用性，同时又与职业技能鉴定紧密结合。

(3) 先进性。书中更多地吸纳了当前新知识、新技术、新工艺的内容，有效地拓展了学生的知识空间，有利于学生综合素质的培养。

(4) 创造性。紧密结合企业典型零件案例的工艺过程组织教学内容，重点的工艺制定与实施部分设有综合训练及实例讲解，实现了校企、理论与实践的良好结合，有效地引起学生的兴趣，开拓学生的思路，有利于培养学生的实践能力和创新精神。

(5) 广泛性。本书涵盖了机械加工所涉及的全部内容，而且具有实用性和实效性，适用于机械加工领域的各种人员参考。

本书共分九个项目，项目一主要介绍机械制造工艺的基本知识、基本理论；项目二~四主要介绍机械制造的基本方法和技术；项目五、六主要介绍机械制造质量分析和装配工艺；项目七~九主要介绍机械制造的新技术等。本书由张兆隆担任主编，前言、绪论和项目一由张兆隆、董建荣编写；项目二由李海涛编写；项目三由孙志平、王增春编写；项目四、五、



八由孙建莉编写；项目七由张勇编写；项目六由张敬芳编写；项目九由娄海汇编写。本书主审为高英敏。

由于水平有限，书中错误和缺点在所难免，恳请读者提出宝贵意见，以便修改。

编 者

目 录

绪论	1
项目一 机械制造工艺的基本知识	4
任务一 基本概念	4
任务二 零件的工艺分析	11
任务三 毛坯的选择	14
任务四 工件的装夹及定位基准的选择	15
任务五 工艺路线的制定	42
任务六 加工余量的确定	47
任务七 工序尺寸及其公差确定	50
任务八 机械加工的生产率及技术经济分析	57
复习思考题	62
项目二 轴类零件制造	65
任务一 轴类零件制造简述	65
任务二 金属切削基础知识	70
任务三 金属切削机床的基础知识	84
任务四 车削加工	93
任务五 车床	99
任务六 磨削加工	122
任务七 轴类零件制造项目综合训练	133
复习思考题	136
项目三 箱体类零件制造	139
任务一 箱体类零件制造简述	139
任务二 孔的加工	141
任务三 平面加工	155
任务四 专用夹具	176
任务五 箱体类零件制造项目综合训练	197
复习思考题	200
项目四 圆柱齿轮制造	202
任务一 圆柱齿轮制造简述	202
任务二 滚齿	207
任务三 插齿	216



任务四 其他齿轮加工方法	219
任务五 圆柱齿轮制造项目综合训练	222
复习思考题	226
项目五 机械制造质量分析	227
任务一 机械制造质量分析简述	227
任务二 机械加工精度	230
任务三 机械加工表面质量	254
任务四 机械制造质量分析项目综合训练	259
复习思考题	260
项目六 机械装配	262
任务一 机械装配简述	262
任务二 装配尺寸链	265
任务三 保证产品装配精度的方法	268
任务四 装配工艺规程的制定	274
任务五 机械装配项目综合训练	281
复习思考题	282
项目七 机械零件的精密加工	284
任务一 机械零件的精密加工简述	284
任务二 精密加工与超精密加工方法	284
任务三 精密加工和超精密加工的特点及发展	290
复习思考题	293
项目八 机械零件的特种加工	294
任务一 机械零件的特种加工简述	294
任务二 电火花加工	295
任务三 电解加工和电解磨削	300
任务四 超声加工	302
任务五 激光加工	304
任务六 其他特种加工	307
复习思考题	310
项目九 先进制造方法	311
任务一 成组工艺和 CAPP	311
任务二 柔性自动化加工	318
复习思考题	323
参考文献	325

绪 论

一、本课程的性质和任务

机械制造技术是机械制造与自动化专业及其专业群的一门主干课程，它以机械制造工艺为主线，是注重技术应用能力培养的新型课程体系。

机械加工的生产实际上是以工艺过程为基础的，而其他方面的内容是为了保证工艺过程的实现。本课程在内容体系安排上，通过轴类、箱体类、齿轮类等典型零件的加工，将工艺、机床、夹具、刀具有机结合在一起，从而加强了综合职业能力的培养。

二、课程的特点和教学方法

1. 加强实践性环节

实践性、综合性强，灵活性大是本课程的重要特点，学习本课程时，要重视实践教学环节，如金工实习、生产实习，实践教学环节是学习本课程的实践基础。本课程的综合训练、课程设计是重要的实践教学环节，不仅可以帮助学生牢固掌握知识，培养综合运用知识的能力，而且有利于将知识转化为技术应用能力。生产中的实际问题是千差万别的，生产产品不同，生产类型不同，现场条件不同，其加工方法也不一样，学习本课程时，关键是要掌握本课程的基本理论和基本知识，并能灵活运用以处理优质、高效、低消耗三者的关系。

2. 加强综合训练

综合训练是以学生自主学习为目的，让学生直接体验、独自研究探索的基本学习方式。其指导思想是引导学生热爱学习，参与社会，走进科学，让学生在自主活动中、在实践中综合地运用所学的知识 and 自己的经验，学会和掌握发现问题、解决问题的能力，培养学生的创新精神及与他人合作、为他人服务的意识。本教材在轴、箱体、齿轮、质量分析、装配等章节编制了综合训练课题（各学校可根据本校实际自行命题），教师在实施中给予学生具体的指导并逐渐放手，让学生自主地去完成课程任务（有条件的学生可以将训练中的文字、图形，以及工艺卡片等在计算机上完成）。

3. 实施综合考核

考核是教学过程中的一个重要环节。它不仅是评定学习成绩优、良、及格或不及格的一种手段，更重要的是通过考核来巩固知识，同时还起到引导学生学习积极性和主动性，特别是引导学生参与创新型和开拓型发展的活动。综合考核是课程综合化的主要环节，它突破了单纯对掌握理论知识的多少或对单一学科知识进行测试的模式，重在对能力的综合测试和考



核，其中包括获取知识的能力、综合运用知识的能力、创新能力及各种技能的测试，在考核的过程中锻炼和培养学生分析问题和解决问题的能力。因此本课程要求采用综合考核（口试+笔试+操作）的方法对学生进行综合评估。

三、机械制造技术的发展趋势

制造技术是当代科学技术发展最为重要的领域之一，是产品更新、生产发展、市场竞争的重要手段，各发达国家纷纷把先进制造技术列为国家的高新关键技术和优先发展项目，给予极大的关注。机械制造业是国民经济的支柱产业，也是其他各种产业的基础和支柱，各种产业的发展都有赖于制造业提供高水平的专用和通用设备。在国际国内的激烈竞争中，具有适应市场要求的快速响应能力并能为市场提供优质的产品，这对于增强市场竞争能力是非常重要的因素，而快速响应能力和产品质量的提高，主要取决于制造水平。

1. 向高柔性化和自动化方向发展

随着国际市场竞争越来越激烈，机电产品的更新周期越来越短，多品种的中、小批生产将成为今后生产的一种主要类型。如何解决中、小批生产的自动化问题是摆在我们面前的一个突出问题。因此，以解决中、小批生产的自动化为主要目标的柔性制造技术越来越受到重视，如 CNC（Computerized Numerical Control，计算机数控）、CAD/CAM（Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing，计算机辅助设计/计算机辅助制造）、FMS（Flexible Manufacturing System，柔性制造系统）的应用越来越广泛。目前，正在大力发展的 CIMS（Computer Integrated Manufacturing System，计算机集成制造系统），使整个生产过程在计算机控制下，不仅实现了自动化，而且实现了柔性化、智能化、集成化，使产品质量和生产率大大提高，生产周期缩短，产生了很好的经济效益。

2. 向精密加工和超精密加工方向发展

在现代高科技领域中，产品的精度越来越高，有的尖端产品其加工精度达到 $0.001\ \mu\text{m}$ ，即纳米（nm）级，促使加工精度由微米级向亚微米级和纳米级发展。精密、超精密，以及纳米级加工技术涉及加工设备、工艺、刀具、检测计量等，是一个机械加工的系统工程。

3. 向高速切削、强力切削方向发展

目前，数控车床主轴转速已达 $5\ 000\ \text{r/min}$ ；加工中心主轴转速已达 $20\ 000\ \text{r/min}$ 以上；磨削速度普遍已达 $40\sim 60\ \text{m/s}$ ，高的已达 $80\sim 120\ \text{m/s}$ 。

四、学习本课程的目的和要求

通过本课程学习，达到如下基本要求：使学生具备必需的机械制造技术的基本知识和基本技能，为培养学生的综合职业能力、创新精神和实践能力，提高全面素质，增强适应职业变化的能力和继续学习的能力打下一定的基础。

1. 知识要求

- (1) 掌握金属切削原理的基本理论和刀具的基本知识。
- (2) 掌握金属切削机床传动、结构、原理、特点及应用范围。
- (3) 掌握机械加工工艺的基本理论知识。



(4) 掌握机床夹具的基本知识。

2. 技能要求

(1) 具有编制、实施典型零件机械加工工艺规程的能力。

(2) 具有使用、调试、维护普通机床的能力。

(3) 具有选择、使用工艺装备和设计工艺装备的能力。

机械制造工艺的基本知识

任务一 基本概念

一、生产过程和工艺过程

1. 生产过程

工业产品的生产过程是指把原材料转变为成品的各互相关联劳动过程的总和。它包括：

(1) 生产技术准备过程，包括产品投产前的市场调查、预测、新产品开发鉴定、产品设计、标准化审查等。

(2) 生产工艺过程，指直接制造产品毛坯和零件的机械加工、热处理、检验、装配、调试、油漆等生产活动。

(3) 辅助生产过程，为了保证基本生产过程的正常进行所必需的辅助生产活动，如工艺装备的制造、能源供应、设备维修等。

(4) 生产服务过程，指原材料的组织、运输、保管、储存、供应，以及产品包装、销售等过程。

为了便于组织生产和提高劳动生产率，取得更好的经济效益，现代工业趋向于专业化协作，即将一种产品的若干个零、部件分散到若干专业化厂家进行生产，总装厂只生产主要零、部件及总装调试。如汽车、摩托车行业大都采用这种模式进行生产。

2. 工艺过程

工艺过程是指生产过程中直接改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使之成为成品或半成品的过程。如毛坯制造、机械加工、热处理、表面处理及装备等，它是生产过程的主体。

二、工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由 1 道或若干道顺序排列的工序组成，而工序又可分为安装、工位、工步和走刀。

1. 工序

一个或一组工人，在一个工作地或一台机床上对同一个或同时对几个工件连续完成的那一部分工艺过程称为工序。划分工序的依据是工作地点是否变化和工作是否连续。图 1-1



的阶梯轴，当加工批量较小时，其工序划分见表 1-1；当加工批量较大时，其工序划分见表 1-2。

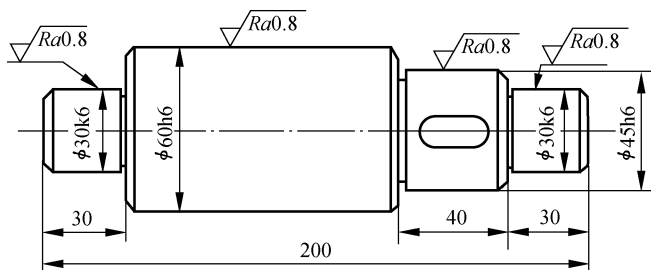


图 1-1 阶梯轴简图

表 1-1 阶梯轴工艺过程（加工批量较小时）

工序号	工序内容	设备
1	车端面、钻中心孔	车床
2	车外圆、车槽和倒角	车床
3	铣键槽、去毛刺	铣床
4	磨外圆	磨床

表 1-2 阶梯轴工艺过程（加工批量较大时）

工序号	工序内容	设备
1	两端同时铣端面、钻中心孔	铣端面、钻中心孔机床
2	车一端外圆、车槽和倒角	车床
3	车另一端外圆、车槽和倒角	车床
4	铣键槽	铣床
5	去毛刺	钳工台
6	磨外圆	磨床

在表 1-1 的工序 2 中，先车 1 个工件的一端，然后调头装夹，再车另一端。如果先车好一批工件的一端，然后调头再车这批工件的另一端，这时对每个工件来说，两端的加工已不连续，所以即使在同一台车床加工也应算作两道工序。

2. 安装

工件经 1 次装夹后所完成的那一部分工序称为安装。在 1 道工序中，工件可能被装夹 1 次或多次才能完成加工。表 1-1 的工序 1 要进行两次装夹：先装夹工件的一端，车端面、钻中心孔，称为安装 1；再调头装夹，车另一端面、钻中心孔，称为安装 2。

3. 工位

为了减少工件的装夹次数，常采用各种回转工作台、回转夹具或移动夹具，使工件在 1 次装夹中，先后处于几个不同的位置进行加工。工件相对于机床或刀具每占据 1 个加工位置所完成的那部分工艺过程，称为工位。表 1-2 中，工序 1 铣端面、钻中心孔，就有两个工



位。工件装夹后，先在工位 I 铣端面，然后移动到工位 II 钻中心孔，如图 1-2 所示。

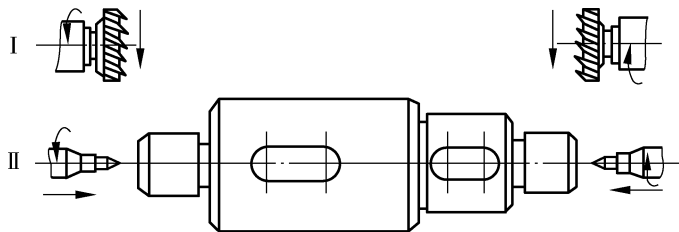


图 1-2 铣端面和钻中心孔

4. 工步

工步指在加工表面、加工工具和切削用量（不包括背吃刀量）都不变的情况下，所连续完成的那一部分工序。图 1-3 中，在工件上钻 4 个 $\phi 15$ mm 的孔，用一个钻头顺次进行加工，则可算作 1 个工步。

为了提高生产率，用几把刀具同时加工几个表面的工步，称为复合工步。也可看做 1 个工步，如图 1-4 所示。

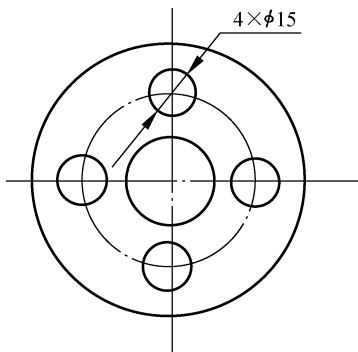


图 1-3 钻四个相同孔的工步

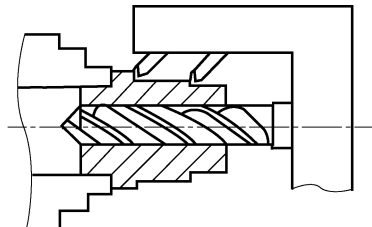


图 1-4 复合工步

5. 走刀

有些工步由于加工余量较大或其他原因，需要同一把刀具及同一切削用量对同一表面进行多次切削。这样，刀具对工件的 1 次切削就称为 1 次走刀。

三、生产类型及工艺特征

1. 生产纲领

生产纲领是企业在计划期内应生产的产品产量。零件生产纲领是指企业根据产品生产量在计划期内生产的零件数量。其计算公式为

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

式中 N ——零件的生产纲领；

Q ——产品的生产纲领；



- 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。

2. 生产类型

生产类型是企业（或车间、工段等）生产专业化程度的分类。企业的生产类型取决于生产纲领。生产类型对工艺过程的规划与制定有较大影响。根据生产的特点，企业的生产可分为3种基本类型：大量生产、成批生产和单件生产。

(1) 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地按一定节律进行某个零件的某道工序的加工。如汽车、轴承及标准件等通常是以大量生产的方式进行。

(2) 成批生产。成批生产是指一年中分批轮流地制造几种不同的产品，每种产品都有一定的数量，工作地点的加工对象周期性地重复。其在产量较大时接近于大量生产；在产量较小时接近于单件生产。如机床、电机等生产。

(3) 单件生产。单件生产是指产品品种多，而每一品种的结构、尺寸不同且产量很少，各个工作地的加工对象经常改变且很少重复的生产类型。如各种试制产品、机修零件、专用工夹量具等均属于这一生产类型。

在一个企业中，生产纲领决定了生产类型。但不同的产品大小和结构复杂程度对生产类型也有影响。表1-3是不同类型产品的生产类型与生产纲领的关系；表1-4是不同机械产品的零件质量型别。

表 1-3 不同类型产品的生产类型与生产纲领的关系

生产类型	生产纲领/(台·年 ⁻¹)或(件·年 ⁻¹)			工作地每月担负的工作数/(工序数·月 ⁻¹)
	小型机械或轻型零件	中型机械或中型零件	重型机械或重型零件	
单件生产	≤100	≤10	≤5	不规定
小批生产	>100~500	>10~150	>5~100	不规定
中批生产	>500~5 000	>150~500	>100~300	>20~40
大批生产	>5 000~50 000	>500~5 000	>300~1 000	>10~20
大量生产	>50 000	>5 000	>1 000	1

注：小型机械、中型机械和重型机械可分别以缝纫机、机床和轧钢机为代表。

表 1-4 不同机械产品的零件质量型别

机械产品类型	零件的质量/kg		
	轻型零件	中型零件	重型零件
小型机械	≤4	>4~30	>30
中型机械	≤15	>15~50	>50
重型机械	≤100	>100~2 000	>2 000

3. 工艺特征

生产类型不同，产品和零件的制造工艺、所用设备及工艺装备、采取的技术措施、达到



的技术经济效果也不一样。各种生产类型的工艺特征可归纳成表 1-5。工艺过程的制定必须结合现有生产条件、生产类型等各方面的因素全面考虑，才能在保证产品质量的前提下，制定出技术上先进、经济上合理的工艺方案。

表 1-5 各种生产类型的工艺特征

工艺特征	生产类型		
	单件、小批生产	中批生产	大批、大量生产
零件的互换性	用修配法，钳工修配，缺乏互换性	大部分具有互换性。装配精度要求高时，灵活应用分组装配法和调整法，同时还保留某些修配法	具有广泛的互换性。少数装配精度较高处，采用分组装配和调整法
毛坯的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、模锻或其他高效方法。毛坯精度高，加工余量小
机床设备及其布置形式	通用机床。按机床类别采用机群式布置	部分通用机床和高效机床。按工件类别分工段排列设备	广泛采用高效机床及自动机床。按流水线和自动线排列设备
工艺装备	大多采用通用夹具、标准附件、通用刀具和万能量具。靠划线和试切达到精度要求	广泛采用夹具，部分靠找正装夹达到精度要求。较多采用专用刀具和量具	广泛采用专用夹具、复合刀具、专用量具或自动检验装置。靠调整法达到较高要求
对工人技术要求	需技术水平较高的工人	需一定技术水平的工人	对调整工人的技术水平要求高，对操作工人水平要求较低
工艺文件	有工艺过程卡片，关键工序要求有序序卡片	有工艺过程卡片，关键零件要求有序序卡片	有工艺过程卡片和工序卡片，关键工序要求有调整卡片和检验卡片
成本	较高	中等	较低

随着科学技术的发展和生产技术的进步，产品更新换代周期越来越短，品种规格不断增多，多品种小批量的生产类型将会越来越多。

四、机械加工工艺规程

1. 机械加工工艺规程的作用

机械加工工艺规程简称工艺规程，是规定零件加工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，将最合理或较合理的工艺过程和方法，按规定的形式制成工艺文本，经审批后用来指导生产并严格贯彻执行的指导性文件。一般包括以下内容：工件加工工艺路线及所经过的车间和工段；各工序的内容及采用的机床和工艺装备；工件的检验项



(2) 机械加工工艺卡片。机械加工工艺卡片的格式与内容见表1-7。它是以工序为单位详细说明整个工艺过程的工艺文件，是用来指导工人生产和帮助车间管理人员和技术人员掌握整个零件加工过程的一种主要技术文件。

表 1-7 机械加工工艺卡片

厂名		产品型号		零(部)件图号		共 页								
						产品名称		零(部)件名称		第 页				
材料牌号		毛坯种类		毛坯外形尺寸		每台毛坯件数		备注						
工序	装夹	工序内容	同时加工零件数	切削用量				设备名称及编号	工艺装备名称及编号			技术等级	工时定额	
				背吃刀量/mm	切削速度/(m·min ⁻¹)	转速或往复次数/(r·min ⁻¹)	进给量/(mm·r ⁻¹)		夹具	刀具	量具		准终	单件
								编制(日期)		审核(日期)		会签(日期)		
标记	处记	更改文 件号	签字	日期	标记	更改文 件号	签字	日期						

(3) 机械加工工序卡片。机械加工工序卡片的格式与内容见表1-8。它是在工艺过程卡片的基础上，按每道工序所编制的一种工艺文件。主要用于大批、大量生产中所有的零件，中批生产中复杂产品的关键零件，以及单件、小批生产中的关键工序。

表 1-8 机械加工工序卡片

厂名		产品型号		零(部)件图号		共 页							
						产品名称		零(部)件名称		第 页			
材料牌号		毛坯种类		毛坯外形尺寸		每台毛坯件数		每台件数		备注			
				车间		工序号		工序名称		材料牌号			
				毛坯种类		毛坯外形尺寸		每毛坯可制件数		每台件数			
				设备名称		设备型号		设备编号		同时加工件数			
				夹具编号		夹具名称				切削液			
										工序工时			
										准终		单件	