



中央广播电视大学教材

机械制造学

下册

JI XIE ZHI
ZAO XUE

程耀东 主编



中央广播电视大学出版社

机 械 制 造 学

下 册

主 编 程耀东

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

机械制造学/程耀东主编. —北京:中央广播电视大学出版社,1994.12

ISBN 7-304-01035-5

I. 机… II. 程… III. 机械制造—理论 IV. TH-0

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 00139 号

机 械 制 造 学

下 册

主编 程耀东

中央广播电视大学出版社出版

社址:北京西城区大木仓 39 号北门 邮编:100032

北京印刷二厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本 787×1092 1/16 印张 21.25 千字 490

1994 年 12 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—6000

定价:12.70 元

ISBN7-304-01035-5/TH·32

前 言

本书是根据中央广播电视大学 1992 年制定的机电工程类“机械制造学教学大纲”编写的。

根据本课程的内容和教学实际情况,为便于组织教学,本教材的内容安排采用模块式结构,全书由金属切削原理及刀具、金属切削机床概论和机械制造工艺等三部分组成。第一部分主要叙述金属切削的基本规律和提高金属切削效益的对策。重点分析金属切削过程中各主要物理现象及其影响因素、刀具几何参数和切削用量的选择。第二部分的重点内容有二,一是剖析 CA6140 型卧式车床的传动系统和主要部件的结构;二是分析 Y3150E 型滚齿机的传动系统。此外,还对其它机床作简要介绍,使学生对金属切削机床的工作原理、性能、传动及结构等有所了解,为合理选用机床打下基础。第三部分主要包括工艺规程制订、典型零件加工工艺、加工质量和装配工艺等四方面内容。为了拓宽学生的知识面,还对数控机床、成组技术、计算机辅助工艺规程编制及电加工、激光加工等特种加工方法作了简要介绍。以上内容以机械加工工艺为主线,各部分内容紧密联系、互相渗透,又有相对的独立性。

本书内容的深度和广度以“必须”、“够用”为度,在保证必要的基本理论的前提下,减少偏深的论证和繁琐的理论推导,使基础理论学习以应用为目的,并加强应用技术和实践能力的训练。以培养应用型高等专门技术人才。

本书的图和数表力求简洁明了、形象直观。所有计量单位、名词术语和标准,均采用国家法定单位和国家最新标准。

本书分两册出版,第一和第二部分为上册,其它部分为下册。

参加本书审稿的有同济大学郭大津教授、浙江工业大学贺兴书教授、杭州电子工学院文贵林教授,由郭大津教授担任主审。杭州应用工程技术学院杨叶青教授和上海工程技术大学包于泮副教授对本书编写也提出很多宝贵意见和建议,在此深表谢意。

本书各章编写分工为:绪论(程耀东),第一~六章(张维纪),第七、八章(陈兆年、毛振扬),第九、十章(王雄棠),第十一、十三、十四和十六章(狄瑞坤),第十二章(孙月明),第十五章(毛振扬)。由程耀东教授担任主编,毛振扬担任副主编。

在本书编写过程中,浙江大学等编、审人员所在院校、中央广播电视大学和浙江广播电视大学等给予大力支持和帮助,在此一并致谢。

本书除适用于机电工程类各专业外,也可供其它相近专业使用,并可作为自学用书及工程技术人员参考用书。

限于编者水平和编写时间,书中误漏及欠妥之处在所难免,敬请广大读者批评、指正。

编 者

1993 年 10 月

主持教师	毛振扬
主 编	程耀东
副 主 编	毛振扬
编 者	孙月明
	狄瑞坤
	毛振扬

目 录

第三部分 机械制造工艺

第十一章 机械加工工艺规程的制订	(1)
§ 11-1 概述	(1)
§ 11-2 机械加工工艺规程的形式、作用和制订步骤	(5)
§ 11-3 零件的工艺分析和毛坯的选择	(9)
§ 11-4 定位基准及其选择	(14)
§ 11-5 机械加工工艺路线的拟订	(23)
§ 11-6 加工余量和工序尺寸的确定	(31)
§ 11-7 机械加工的生产率和技术经济分析	(44)
§ 11-8 机械加工工艺规程制订实例	(50)
第十二章 机械加工精度	(57)
§ 12-1 概述	(57)
§ 12-2 工艺系统的几何误差	(58)
§ 12-3 工艺系统的受力变形	(65)
§ 12-4 工艺系统的热变形	(82)
§ 12-5 工件残余应力引起的变形	(90)
§ 12-6 加工误差的统计分析	(93)
§ 12-7 加工误差综合分析实例	(108)
§ 12-8 保证和提高加工精度的途径	(112)
第十三章 机械加工表面质量	(122)
§ 13-1 概述	(122)
§ 13-2 影响加工表面质量的工艺因素	(124)
§ 13-3 提高加工表面质量的工艺方法	(131)
§ 13-4 机械加工中的振动及其防治	(141)
第十四章 典型零件的加工工艺	(157)
§ 14-1 轴类零件的加工工艺	(157)
§ 14-2 箱体类零件的加工工艺	(173)
§ 14-3 圆柱齿轮的加工工艺	(186)
第十五章 装配工艺	(214)

§ 15-1	概述	(214)
§ 15-2	装配尺寸链	(218)
§ 15-3	装配方法及其选择	(228)
§ 15-4	装配工艺规程的制订	(246)
§ 15-5	典型部件装配实例	(253)
第十六章	机械制造工艺与设备的新发展	(267)
§ 16-1	数控机床	(267)
§ 16-2	成组技术	(307)
§ 16-3	计算机辅助工艺规程编制和计算机辅助制造	(317)
§ 16-4	特种加工	(323)

第三部分 机械制造工艺

第十一章 机械加工工艺规程的制订

§ 11-1 概 述

一、生产过程和机械加工工艺过程

任何一种产品的生产，都必须经过一定的生产过程。生产过程是指由原材料转变为成品的全过程。具体地说，它包括生产前的准备；原材料的运输和保管，毛坯的确定和制造，零件的机械加工；产品的装配；整机的检验和试运转；油漆和包装等。这里要说明的一点是，原材料和成品是一个相对的概念。一个工厂的原材料可能是另一工厂的成品。例如轧钢厂的成品是各种规格和型号的钢材，而对机床厂来说，钢材只是原材料，机床才是它的产品。这种生产上的分工，可以使工厂生产趋于专门化，规格化一样，有利于保证产品质量、提高生产率和降低生产成本。

工艺是指产品的制造（加工和装配）的方法和手段。工艺过程是指按一定的顺序改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品的过程。机械加工工艺过程即通过机械加工的方法，逐次改变毛坯的尺寸、形状、相互位置和表面质量等，使之成为合格零件的过程。

二、机械加工工艺过程的组成

一个零件的机械加工工艺过程往往是比较复杂的。为了便于组织和管理生产，以保证零件质量，生产中常把机械加工工艺过程分为若干工序，而工序又可分为工位、工步和走刀等。

1. 工序

工序是指一个或一组工人，在一个工作地点对同一个（或同时对几个）工件所连续完成的那一部分工艺过程。

2. 安装

工件经一次装夹所完成的那一部分工序，称为安装。在一道工序中，工件可能被装夹多次才能完成，即一道工序中可能包含几次安装。

3. 工位

工位是指为了完成一定的工序部分，在一次装夹下，工件与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置。

4. 工步

工步是在零件的加工表面和加工刀具不变的条件下所连续完成的那一部分工序。

5. 走刀

在一个工步内，若工件被加工表面很厚除去的金属层很厚，可分几次切削，则每切削一次即为一次走刀。

图 11-1 所示为一阶梯轴。根据零件的尺寸和技术要求，其主要加工工艺过程为：切一端端面；打一端中心孔；切另一端面；打另一端中心孔；车 $\phi 60$ 外圆、 $\phi 40$ 外圆；车螺纹；铣键槽；去毛刺。

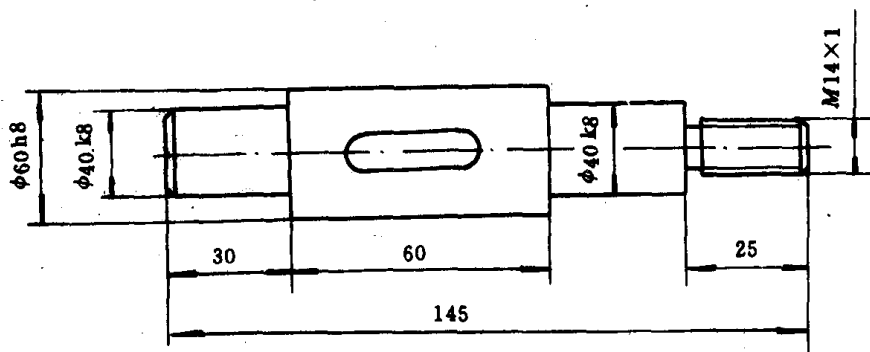


图 11-1 阶梯轴零件图

根据加工条件 and 生产规模的不同，可以采用不同的加工方案来完成该工件的加工。表 11-1 和表 11-2 分别表示在单件小批生产及大批生产时的工序划分和所采用的机床设备。表 11-1（单件小批生产）中，工序 10 包含二次安装、四个工步（四个工步为两次车端面、两次打中心孔）；工序 20 中包含二次安装、七个工步。表 11-2（大批生产）工序 10 中，由于采用两端同时加工的方法，所以只有二个工步，而工序 20~60 都是小批生产中工序 20 和 30 的加工内容。显然，其每一工序内的工步数目减少很多。

表 11-1 单件小批生产的工艺过程

工序号	工 序 加 工 内 容	设 备
10	车一端面，打中心孔，调头车另一端面，打另一中心孔	车 床
20	车外圆 $\phi 60$ 、 $\phi 40$ 及倒角，调头车螺纹、外圆、倒角	车 床
30	铣键槽，去毛刺	铣 床

表 11-2 大批生产的工艺过程

工序号	工 序 加 工 内 容	设 备
10	铣二端面，打二中心孔	铣端面打中心孔机床
20	车外圆 $\phi 60$ 、 $\phi 40$ 及倒角	车 床
30	车外圆 $\phi 40$ 、M14 螺纹外圆及倒角	车 床
40	铣键槽	铣 床
50	攻 M14 螺纹	攻螺纹机床
60	去毛刺	钳 工 台

图 11-2 所示为多工位机床上加工六级精度孔的例子。该工序中, 工件在一次装夹下, 利用回转工作台使每个工件在六个工位顺次完成装卸工件、钻、扩、铰孔等工作。生产中常把有切削加工作用的动力装置称为切削头 (简称头)。这里的孔加工机床就叫做五头六工位机床。

三、生产纲领和生产类型

生产纲领是企业在计划期限内应当生产的产品产量和进度计划。由于一般工业企业都是以年作为计划期限, 这样, 年产量即为生产纲领。零件的生产纲领可按下列式子计算:

$$N = Q \cdot n (1 + \alpha\%) (1 + \beta\%)$$

式中 N ——零件的生产纲领 (件/年);

Q ——产品的年产量 (台/年);

n ——每台产品中, 该零件的数量 (件/台);

$\alpha\%$ ——零件的备品率;

$\beta\%$ ——零件的废品率。

生产类型是企业 (或车间、工段、班组、工作地) 生产专业化程度的分类。它一般分为以下三种类型:

1. 单件生产

在单件 (小批) 生产中, 产品的品种很多, 同一产品的产量很少, 各工作地点经常变换, 加工对象很少重复生产。例如, 重型机械, 专用设备的制造及新产品试制等。

2. 大量生产

大量生产时, 产品的产量很大, 大多数工作地点重复进行某种零件的某道工序, 设备专业化程度很高。例如汽车、拖拉机、轴承、洗衣机等的生产就是大量生产。

3. 成批生产

在成批生产中, 各工作地点分批轮流制造几种不同的产品, 加工对象周期性地重复。一批零件加工完以后, 调整加工设备和工艺装备, 再加工另一批零件。每批被加工产品的数量称为批量。根据批量的大小, 成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产三种。小批生产的工艺特点与单件生产相似; 大批生产的工艺特点与大量生产相似; 以上两种生产分别称为单件小批生产和大批大量生产。中批生产的工艺特点介于单件小批生产和大批大量生产之间。例如机床、汽轮机的生产, 就是成批生产的典型例子。

生产类型与生产纲领的关系随零件的型别的不同而不同 (见表 11-3), 而零件的型别又与机械产品的类别有关 (见表 11-4)。

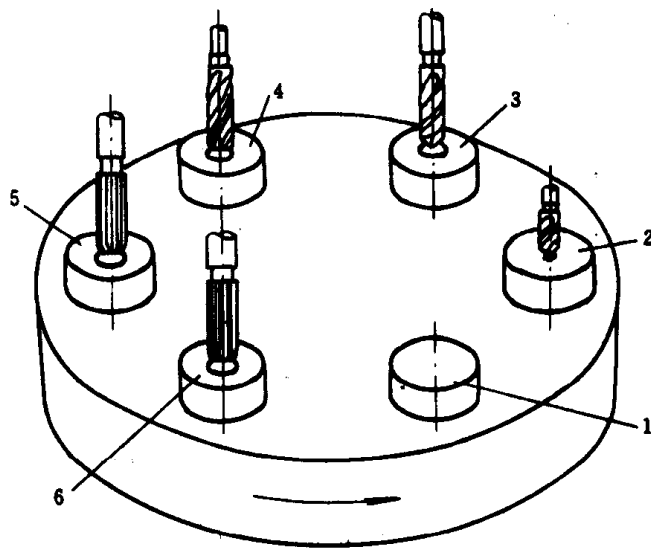


图 11-2 多工位加工

工位 1—装卸工件; 工位 2—预钻孔; 工位 3—钻孔;
工位 4—扩孔; 工位 5—粗铰; 工位 6—精铰

表 11-3 生产类型和生产纲领的关系

类型 \ 型别		零件的生产纲领 (件/年)		
		重型零件	中型零件	轻型零件
单 件 生 产		<5	<10	<100
成 批 生 产	小 批	5~100	10~200	100~500
	中批	100~300	200~500	500~5000
	大批	300~1000	500~5000	5000~50000
大 量 生 产		>1000	>5000	>50000

表 11-4 不同机械产品的零件重量型别

机械产品类别	零 件 的 重 量 (kg)		
	轻型零件	中型零件	重型零件
电 子 机 械	≤4	>4~30	>30
机 床	≤15	>15~50	>50
重 型 机 械	≤100	>100~2000	>2000

零件的生产类型对其工艺规程的制订有着很大的关系,表 11-5 简要说明了各种生产类型的工艺特点。

表 11-5 各种生产类型的工艺特点

工 艺 特 点 \ 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	一般是单件或配对制造,没有互换性,广泛采用钳工修配	大部分有互换性,少量采用钳工修配	全部有互换性,某些精度较高的配合零件用分组装配和调整法
毛坯制造方法及加工余量	铸件用木模手工造型。锻件用自由锻,有时采用焊接毛坯,毛坯精度低,加工余量大	部分铸件采用金属模,部分锻件采用模锻,毛坯精度中等,加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、模锻以及其他高生产率的毛坯制造方法。毛坯精度高,加工余量小
机床设备及夹具	多用通用机床,通用夹具标准附件,按机床种类和规格采用机群式布置	多用通用机床配有专用夹具,部分采用高生产率机床。广泛采用夹具部分采用找正装夹	广泛采用高生产率的专用机床及自动机床并配有专用夹具靠机床夹具来保证加工精度,按流水线自动线排列机床

续表

生产类型 工艺特点	单件小批生产	中批生产	大批大量生产
刀具和量具	采用通用刀具和通用万能量具	较多采用专用刀具及专用量具	广泛采用高生产率的专用刀具和量具
对工人的技术要求和工艺文件	要求工人有较熟练的技术。工艺文件需工艺过程卡、关键工序需工序卡	需要有一定熟练技术的工人。有工艺过程卡，对关键零件需工序卡	对工人的技术要求较低，调整工人的技术要求高。有工艺过程卡工序卡，关键工序需调整卡和检验卡

§ 11-2 机械加工工艺规程的形式、作用和制订步骤

机械加工工艺规程是规定零件制造工艺过程 and 操作方法等的技术文件，它一般应包括下列内容：零件的加工基准，加工工艺路线，各工序的具体加工内容及精度，切削用量，时间定额及所用的设备和工艺装备等。制订零件工艺规程的基本要求是，在保证产品质量的前提下，尽可能提高劳动生产率和降低加工成本。并在充分利用本企业现有生产条件的基础上，尽可能采用国内、外先进工艺技术和经验。还应保证操作者有良好的劳动条件。

工艺规程是用来直接指导生产和操作的主要技术文件，应按规定的格式书写，所用术语符号、计量单位等均应符合相应标准，并应做到正确、完整、统一和清晰。

一、机械加工工艺规程的类型、形式和格式

根据机械部指导性技术文件 JB/Z338.5-88《工艺管理导则 工艺规程设计》的规定，工艺规程的类型有：

- (1) 专用工艺规程 针对每一个产品和零件所设计的工艺规程。
- (2) 通用工艺规程
 - 1) 典型工艺规程：为一组结构相似的零件所设计的通用工艺规程。
 - 2) 成组工艺规程：按成组技术原理将零件分类成组，针对每一组零件所设计的通用工艺规程。

(3) 标准工艺规程

已纳入标准的工艺规程。

本章主要介绍零件机械加工专用工艺规程的制订。

在上述指导性技术文件中，还规定有多种工艺规程的形式，其中以工艺过程卡片和工序卡片在机械加工中最为常见。根据生产实际的需要，有时也采用工艺卡片、检验卡片、调整卡片、毛坯图及工艺附图等文件形式。

为了适应工业发展、科学管理和相互交流的需要，原机械电子工业部还制订了指导性技

术文件 JB/Z187.3—88《工艺规程格式》，要求各机械制造厂按规定的格式填写。机械加工工艺过程卡片和机械加工工序卡片的格式如表 11-6、表 11-7 所示。

机械加工工艺过程卡片以工序为单位，简要说明零件的机械加工过程。主要用于单件、小批及中批生产的产品。大批大量生产可酌情自定。

机械加工工序卡片是在工艺过程卡片的基础上进一步按每道工序所编制，一般具有工序简图，并在图上标明定位基准、工序尺寸及其公差，加工表面粗糙度要求及加工部位（用粗实线表示）等。在工序卡片上应详细说明该工序中每个工步的加工内容、工艺装备、工艺参数和时间定额等。主要用于大批大量生产中的产品及单位、小批和中批生产中的关键工序。

实际生产中并不需要具备各种形式的工艺文件。标准中允许结合具体情况适当增减。未作规定的工艺文件格式可根据需要自行设计。

二、机械加工工艺规程的作用

1. 工艺规程是指导生产的主要技术文件

合理的工艺规程是根据长期的生产实践经验、科学分析方法和必要的工艺试验，并结合具体生产条件而制订的。按照工艺规程进行生产，有利于保证产品质量、提高生产效率和降低生产成本。

2. 工艺规程是组织和管理生产的基本依据

在生产组织和管理中，产品投产前的准备。如原材料供应、毛坯制造，通用工艺装备的选择，专用工艺装备的设计和制造等。产品生产中的调度，机床负荷的调整、刀具的配置，作业计划的编排、生产成本的核算等都是以工艺规程作为基本依据的。

3. 工艺规程是新建和扩建工厂或车间的基本资料

通过工艺规程和生产纲领，可以统计出所需建车间、厂房应配备的机床和设备的种类、规格和数量，进而计算出所需的车间面积和人员数量，确定车间的平面布置和厂房基建的具体要求，从而提出有根据的新建或扩建车间、工厂的计划。

4. 工艺规程是进行技术交流的重要手段

技术先进和经济合理的工艺规程可通过技术交流，推广先进经验，从而缩短产品试制周期和提高工艺技术水平。这对提高整个行业的技术水平和降低产品成本有着重要的现实意义。

工艺规程，作为一个技术文件，有关人员必须严格执行。不得违反或任意改变工艺规程所规定的内容，否则就有可能影响产品质量、打乱生产秩序。当然，工艺规定也不是长期固定不变的，随着生产的发展和科学技术的进步，新材料和新工艺的出现，可能使得原来的工艺规程不相适应。这就要求技术人员及时吸取合理化建议、技术革新成果、新技术新工艺及国内外的先进工艺技术，对现行工艺进行不断完善和改进，并通过有关部门论证和审批。以使其更好地发挥工艺规程的作用。

三、制订机械加工工艺规程的原始资料和步骤

（一）制订工艺规程的原始资料

制订零件的工艺规程时，通常须具备下列原始资料：

（1）零件工作图和产品装配图；

表 11-7 机械加工工序卡片格式

机械加工工序卡片		产品型号	零(部)件图号	零(部)件名称		零(部)件图号		共()页		第()页	
		车间		工序号	工序名称	材料牌号					
		毛坯种类		毛坯外型尺寸	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					
		工位器具编号		工位器具名称		准 终		单 件		工时	
工步号	工 步 内 容	工艺装备		主轴转速 r/min	切削速度 m/min	进给量 mm/r	切削深度 mm	进给次数	工步工时		
描图									机动辅助		
描校											
底图号											
装订号											
				设计(日期)	审核(日期)	标准化(日期)	会签(日期)				
标记处数	更改文件号	签字	日期	标记处数	更改文件号	签字	日期				

- (2) 产品的生产纲领;
- (3) 产品验收的质量标准;
- (4) 现场生产条件 包括毛坯的制造条件或协作关系、现有设备和工艺装备的规格、功能和精度,专用设备和工艺装备的制造能力及工人的技术水平等;
- (5) 有关手册、标准及工艺资料等。

(二) 制订工艺规程的步骤

制订工艺规程的步骤大致如下:

1. 零件的工艺分析

认真分析零件的工作图及该零件所在部件的装配图,了解零件的结构和功用,分析零件的结构工艺性及各项技术要求,找出主要技术关键。

2. 确定毛坯

毛坯的类型和制造方法对零件质量、加工方法、材料利用率及机械加工劳动量等有很大影响。目前国内的机械厂多半由本厂的毛坯车间供应毛坯。选择毛坯时,要充分采用新工艺新技术和新材料,以便改进毛坯制造工艺和提高毛坯精度,从而节省机械加工劳动量和简化工艺规程。

3. 拟定加工工艺路线

拟定加工工艺路线就是确定零件由粗加工到精加工的全部加工工序。其主要工作内容包括定位基准和表面加工方法的选择;工序的划分和工序顺序的安排以及热处理、检验及辅助工序的安排等。这是制订加工工艺过程的中心环节,一般需提出几种可能的方案进行比较、论证,最后确定其中一种最佳方案。

4. 选择加工设备

选择加工设备时,应使加工设备的规格与工件尺寸相适应;设备的精度与工件的精度要求相适应,设备的生产率要能满足生产类型的要求,同时也要考虑现场原有的加工设备,尽可能充分利用它们。

5. 确定刀具、夹具、量具和必需的辅助工具

6. 确定各工序的加工余量,计算工序尺寸及其偏差

7. 确定关键工序的技术要求及检验方法

8. 确定切削用量及时间定额

9. 填写有关工艺文件

§ 11-3 零件的工艺分析和毛坯的选择

零件工作图及其有关部件装配图是了解零件结构和功用及制订其工艺规程最主要的原始资料。制订加工工艺时,必须对图纸进行认真仔细的分析和研究。主要包括下列两个方面。

一、零件的技术要求分析

零件的技术要求主要包括以下几方面:

- (1) 加工表面的尺寸精度；
- (2) 主要加工表面的形状精度；
- (3) 主要加工表面的相互位置精度；
- (4) 加工表面的粗糙度和机械物理性能；
- (5) 热处理及其他要求。

首先应检查这些技术要求的完整性，在此基础上再审查各项技术要求的合理性。过高的精度和过低的表面粗糙度都会使工艺过程复杂造成加工困难。在满足零件工作性能的前提下应尽可能降低零件的加工技术要求。如果发现有问題，应及时提出，并会同有关设计人员共同讨论研究，按规定手续对图纸进行修改或补充。

二、零件的结构工艺性分析

零件结构，由于其使用要求不同而具有不同的形状和尺寸。但如果从形体上加以分析，则各种零件又都是由一些基本的表面和几个特形表面所构成。基本表面主要有平面、内孔、外圆和渐开线齿面表面等。所谓零件的结构工艺性，就是指在不同生产类型的具体生产条件下，从毛坯的制造、零件加工到产品的装配和维修，在保证使用要求的前提下，经济方便地制造出来。表 11-8 列举了一些零件切削加工结构工艺性的例子。

三、毛坯的选择

毛坯制造是零件生产过程中的一个重要部分，是由原材料变成成品的第一步。零件在加工过程中的工序数量、材料消耗、制造周期及制造费用等在很大程度上与所选择的毛坯制造方法有关。工艺人员应根据零件的结构特点和使用要求正确选择毛坯类型及其制造方法，设计出毛坯的结构并制订有关技术要求。

表 11-8 结构工艺性的例子

	A 结构工艺性不好	B 结构工艺性好	说 明
1			在结构 A 中，件 2 上的凹槽 a 不便于加工和测量。宜将凹槽 a 改在件 1 上，如结构 B
2			键槽的尺寸、方位相同，则可在一次装夹中加工出全部键槽，提高生产率
3			结构 A 的加工面，不便引进刀具