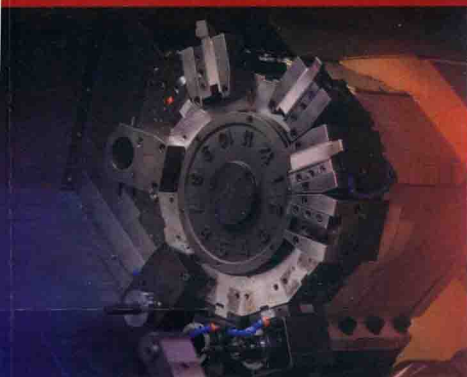


XIANDAI JIXIE ZHIZAO GONGYI
YU XINJISHU FAZHAN TANJIU

现代机械制造工艺 与新技术发展探究



◎邵国友 周德廉 / 著



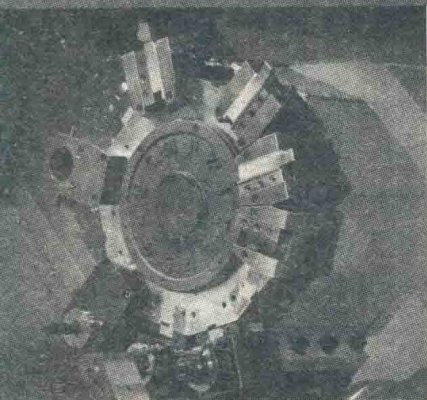
四川大学出版社

XIANDAI JIXIE ZHIZAO GONGYI
YU XINJISHU FAZHAN TANJIU

现代机械制造工艺

与新技术发展探究

◎邵国友 周德廉 / 著



四川大学出版社

责任编辑:唐 飞
责任校对:蒋 筠
封面设计:陈 勇
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

现代机械制造工艺与新技术发展探究 / 邵国友, 周德廉著. —成都: 四川大学出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-5690-1352-8

I. ①现… II. ①邵… ②周… III. ①机械制造工艺—技术发展—研究 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 293136 号

书名 现代机械制造工艺与新技术发展探究

著 者 邵国友 周德廉
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行 四川大学出版社
书 号 ISBN 978-7-5690-1352-8
印 刷 郫县犀浦印刷厂
成品尺寸 185 mm×260 mm
印 张 11
字 数 248 千字
版 次 2017 年 12 月第 1 版
印 次 2017 年 12 月第 1 次印刷
定 价 45.00 元



版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。
电话:(028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码:610065
◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。
◆网址:<http://www.scupress.net>



邵国友

副教授，宿迁学院机电工程学院副院长。国家创新基金项目评审技术专家。江苏省机械工程学会理事，宿迁市机械工程学会副理事长兼秘书长。宿迁市“135工程”第二层次培养对象。宿迁学院首批优秀教学团队“机械设计制造及其自动化教学团队”带头人，宿迁学院首批学术带头人。

主要从事机械设计制造及其自动化专业相关的教学和研究工作。主讲“工程制图”“计算机绘图”“机械制造技术”等课程，指导实验、实习、课程设计、毕业设计、生产实习等实践教学。

获江苏省优秀教学成果二等奖1项，宿迁市教育系统先进个人2次。多次被评为校先进工作者、优秀共产党员。

主持江苏省“十二五”高等学校重点专业（机械设计制造及其自动化）建设项目1项、江苏省高等学校实验教学示范中心（宿迁学院现代制造技术综合训练示范中心）建设项目1项；主要参与江苏省高校品牌专业——机械设计制造及其自动化专业的建设项目1项、江苏省教育厅教改课题“基于CDIO理念机械电子工程专业本科创新型人才培养实践教学体系的构建”的建设项目1项；主持市级科研项目2项。公开发表学术论文10余篇；出版教材6部，其中《现代测试技术与信号处理》被评为省级精品教材。

前 言

制造是人类最主要的生产活动之一。它指人类按照所需,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。制造业是对原材料进行加工或再加工以及对零部件装配的工业的总称,是国民经济的支柱产业之一。

机械制造工业是国民经济的装备部,在国民经济中具有十分重要的地位和作用。无论是传统产业还是新兴产业,都离不开机械设备。机械制造工业的规模 and 水平是反映国民经济实力和科学技术水平的标志。世界各国都把机械制造工业作为振兴和发展国民经济的战略重点之一。

随着生产和科学技术的发展,许多工业部门,尤其是国防、航天、电子等工业,要求产品向高精度、高速度、大功率、耐高温、耐高压、小型化等方向发展。产品零件所使用的材料越来越难加工,形状和结构越来越复杂,要求的精度越来越高,表面粗糙度越来越小。常用的传统加工方法已不能满足需要,于是,便创造和发展了一些精密加工和特种加工方法。本书在对机械制造常见工艺进行阐述的基础上,对精密与特种加工技术进行了研究,详细地分析了磁盘基片的精密切削、陶瓷材料的精密切削以及激光加工、超声波加工、电子束加工、离子束加工等。

现代科学技术的飞速发展,社会需求的多样性和变化性,要求机械制造必须突破原有的生产组织模式,使产品的制造适应日益变化的市场需求和激烈的市场竞争。计算机技术、数控技术、控制论及系统工程与制造技术的结合,产生了现代制造技术,形成了现代机械制造系统。而机械制造系统的自动化给现代机械制造带来了一系列的好处。本书重点对机械制造系统的自动化与计算机辅助制造技术进行了研究,其中对 FMS 自动加工系统进行了详细的阐述。

快速原型制造又称为快速出样件技术或快速成型法,是 20 世纪 80 年代中后期发展起来的一种新技术。与传统去除材料的加工方法不同,它采用材料累加的方法逐层制作,对快速响应市场、缩短产品开发周期、降低开发费用具有极其重要的意义。本书在对快速原型技术理论分析的基础上,阐述了快速原型技术在快速产品开发、模具制造、医学、工程测试、功能测试及艺术品制造等方面的应用。

全书共 6 章。第 1 章主要阐述机械制造工艺过程基本概念、机械加工工艺规程的制定、机械加工表面质量;第 2 章主要对车削加工、铣削加工、磨削加工、齿形加工进行了阐

释;第3章主要研究精密加工方法、电化学加工技术、电火花加工及线切割、激光与超声波加工技术和电子束与离子束加工技术;第4章主要对机械制造系统自动化、成组技术、柔性制造系统,以及计算机集成制造系统进行了阐述;第5章将在快速原型技术总论的基础上,重点研究快速原型技术工艺方法和快速原型成型技术应用;第6章主要对虚拟制造技术、微细加工技术、纳米加工技术进行了阐释。

本书在撰写过程中参阅了大量的相关文献和资料,并引用了很多专家和学者的研究成果,在此对他们表示衷心的感谢!由于作者的水平有限,加之时间仓促,书中不妥与疏漏之处在所难免,在此恳请各位专家与读者批评指正。

作者

2017年10月

目 录

第 1 章 机械制造工艺概述	1
1.1 机械制造工艺过程基本概念	1
1.2 机械加工工艺规程的制定	7
1.3 机械加工表面质量	20
第 2 章 机械制造常见工艺研究	35
2.1 车削加工	35
2.2 铣削加工	43
2.3 磨削加工	51
2.4 齿形加工	59
第 3 章 精密与特种加工技术研究	66
3.1 精密加工方法	66
3.2 电化学加工技术	72
3.3 电火花加工及线切割	76
3.4 激光与超声波加工技术	82
3.5 电子束与离子束加工技术	88
第 4 章 机械制造系统的自动化与计算机辅助制造技术研究	93
4.1 机械制造系统自动化	93
4.2 成组技术	97
4.3 柔性制造系统	106
4.4 计算机集成制造系统	113
第 5 章 快速原型技术研究	117
5.1 快速原型技术总论	117
5.2 快速原型技术工艺方法	124
5.3 快速原型技术应用	137

第 6 章 其他先进制造技术研究	142
6.1 虚拟制造技术	142
6.2 微细加工技术	149
6.3 纳米加工技术	159
参考文献	166

第 1 章 机械制造工艺概述

机械制造工艺是指采用各种机制、使用合适的生产器具加工或处理原材料、半成品,最终使之转换为机械产品的方法和过程。与机械制造工艺学有联系的行业有百多种,如通用机械,机床与工具,矿山、工程机械,冶金、轧制机械,发电设备,石油、天然气与化工机械,汽车与交通运输机械,等等。机械制造工艺的发展不仅要依赖生产的发展,还要实施试验研究,通过科学的方法对工艺问题进行分析、研究与解决,使工艺水平得以提升。机械制造工艺的发展也促使了设备和刀、夹、辅和量具等工艺设备的革新与发展。本章主要阐述机械制造工艺过程基本概念、机械加工工艺规程的制定、机械加工表面质量。

1.1 机械制造工艺过程基本概念

1.1.1 生产过程和工艺过程

1.1.1.1 生产过程

把原材料或者半成品加工成成品实施的操作流程就是产品的生产过程。在工厂进行产品生产的流程主要有以下阶段,内容如下:

- (1) 毛坯制造。毛坯的生产要在锻压和铸造车间进行。
- (2) 零件加工。加工零件时,要在机械加工、冲压、焊接、热处理和表面处理车间进行。
- (3) 零件装配。在装配车间把零件组装成产品。
- (4) 检验试车。在试验台上测试和检验产品的各项性能。

生产产品的过程是非常烦琐的,除了有直接影响生产对象上的工作(也就是工艺过程)以外,还涵盖制订生产计划、编制工艺规程与生产工具的准备等生产准备工作,以及维修设备、提供并输送原材料和半成品、生产中的统计与核算等生产辅助工作。

1.1.1.2 工艺过程

1)工艺过程的概念

在生产产品的阶段中,占据最重要位置的是工艺过程。通过实施加工工艺把原材料或者半成品直接离开工成成品的过程就叫作工艺过程。例如,焊接、冲压、热处理与表面处理、装配等都是工艺过程。

采用机械加工工艺一步一步地变动毛坯的特性、大小与形状,让其变换为合格零件的整个过程叫作机械加工工艺过程。在对机械产品进行生产时,在总的劳动量中,机械加工约占 60%的比例,而且当今机械加工也是获取零件高精度和复杂构形的重要加工阶段。

2)工艺过程的组成

(1)工序。工序是指在一个工作场所,一个或者几个工人对工件不间断完成的这一部分工艺的过程。工序是工艺流程中的基本组成部分,也是生产加工的基本单元。划分工序的依据主要有两条:第一,看在加工过程中,工作地点是否改变了;第二,看工作是否是连续的。例如,有一批轴套需要钻孔和扩孔,如果这批轴套是在同一台钻床上先钻孔再扩孔连续完成的,那么,这批轴套的钻孔和扩孔加工就属于同一工序;如果将这批轴套依次先进行钻孔,然后再依次进行扩孔,虽然在同一台钻床上完成,但由于对每个轴套来说,钻孔和扩孔不是连续进行的,所以钻孔和扩孔应属于两个不同的工序。

(2)安装。在一道工序中,若要多次装夹工件,那么在进行每次装夹操作以后实现的这一部分工序内容就叫作安装。一个工序可能要进行一次安装,也可能要进行多次安装。例如,在表 1-1 中工序 1,在装夹完一次后,还需要 3 次调头装夹,才可以完成所有工序内容,所以这个工序需要进行安装的总次数为 4。表 1-1 中工序 2 的含义是指在装夹一次的条件下实现的所有工序内容,所以这个工序仅有 1 次安装。

表 1-1 工序和安装

工序号	安装号	工序内容	设备
1	1	车小端面,对小端面钻中心孔,粗车小端外圆,对小端倒角	车床
	2	车大端面,对大端面钻中心孔,粗车大端外圆,对大端倒角	
	3	精车大端外圆	
	4	精车小端外圆	
2	1	铣键槽,手工去毛刺	铣床

应尽可能减少安装次数,多一次装夹就多一次安装误差,又增加了装卸辅助时间。

(3)工步。工步指的是在一道工序中,存在 3 个要素均不改变的情况下所完成的那部分工艺过程,这 3 个要素是加工表面、切削用量和切削刀具。工步是工序的基本组成部分。例如,车一根轴,安装了三把车刀,第一把端面车刀车端面,第二把外圆车刀车外圆,第三把切断车刀切断,那么就是三个工步。为了提高生产效率,在实际生产加工过程

中,工人师傅在对几个表面同步实施加工时,通常使用多把刀具,如此工步就叫作复合工步。在工艺过程中,复合工步通常被认为是一个工步。

复合工步应用于工艺过程的范围是非常普遍的。例如,图 1-1 是在龙门刨床上,使用多刀刀架在互异高度上安装 4 把刨刀实现刨削加工的复合工步;图 1-2 是在钻床上通过复合钻头加工钻孔与扩孔的复合工步;图 1-3 是在铣刀组合的情况下,在铣床上通过铣削,并对几个平面进行加工的复合工步。不难看出,使用复合工步能够使生产率得到提升。

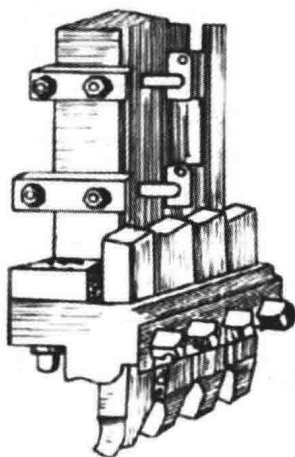


图 1-1 刨平面复合工步

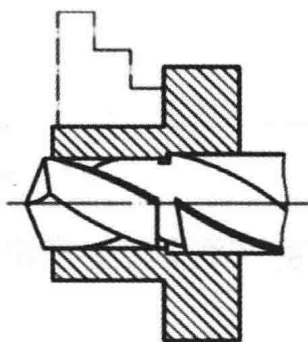


图 1-2 钻孔、扩孔复合工步

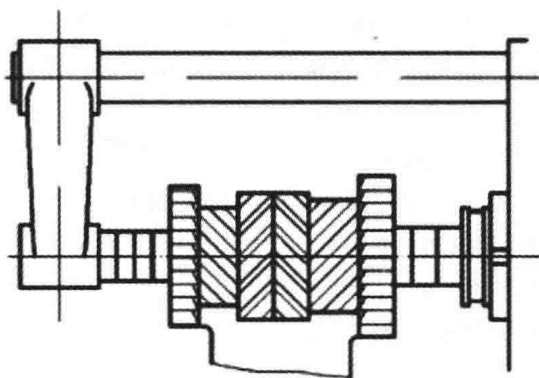


图 1-3 组合铣刀铣平面复合工步

多工位加工中的每一个工位,可能包括了普通加工方式中的一个工序,也可能只包括一个工步。但由于全部加工没有改变工作地点和操作人员,又是连续加工,所以整个加工称为一个工序,每个工位相当于一个工步。

(4)走刀。当被加工表面在一个工步中有极大的切削余量时,进行切削时往往要划分为许多次,每切削一次,就是一次走刀。一个工步里有一次或多次走刀。当金属层非常厚重时,要在一次走刀下切完它是无法实现的,解决的方法是要分几次走刀,走刀次数也就是行程次数。螺钉机械加工工艺如图 1-4 所示。其中在工序 I 车中,车螺纹外径 D ,

1 个工步需 3 次走刀;车螺纹,1 个工步需 6 次走刀。在工序Ⅲ铣中,铣六方复合工步需 3 次走刀。

工序	安 装	工 步	工 位	走 刀
Ⅰ 车	1 (三爪自定心卡盘)	①车端面A	1	1
		②车外圆E		1
		③车螺纹外径D		3
		④车端面B		1
		⑤倒角F		1
		⑥车螺纹		6
		⑦切断		1
Ⅱ 车	1 (三爪自定心卡盘)	①车端面C	1	1
		②倒角G		1
Ⅲ 车	1 (旋转夹具)	①铣六方 (复合工步)	3	3

图 1-4 螺钉机械加工工艺

1.1.2 生产纲领、生产批量与生产类型

1.1.2.1 生产纲领

生产纲领往往指的是一年内产品的生产数量。生产纲领、生产类型和工艺这三者之间存在着非常紧密的联系。生产纲领不相同,生产规模也不相同,工艺过程的特点也相应而异。

零件的生产纲领通常按下式计算:

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

- 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);
 α ——备品率(%);
 β ——废品率(%)。

对工艺规程进行设计或修改,生产纲领是其重要根据,同时也是车间(或工段)设计的基础文件。

明确了生产纲领以后,还要视工段和车间的具体状况对生产批量进行确定。

1.1.2.2 生产批量

在规定的时间内,一次性投入或者制造出的同一件产品或者零件的个数就叫作生产批量。通常情况下,周转资金的速度要迅速、加工零件与调整成本要少、确保销售与装配

要有充足的储备量 3 方面是判断生产批量多少的主要因素。零件生产批量通常使用以下公式进行计算,即

$$n = \frac{NA}{F}$$

式中 n ——每批中的零件数量;

N ——年生产纲领规定的零件数量,也就是年产量;

A ——零件应该储备的天数;

F ——一年中工作日天数。

1.1.2.3 生产类型

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。

工厂的生产方式、规模取决于工厂或产品的生产纲领。

生产类型通常包括以下 3 类,即单件生产、成批生产和大量生产。

1) 单件生产

单一地或少量地生产大小、结构不一样的产品并且无重复、较少重复生产的手段就叫作单件生产。属于单件生产的类型有很多种,如大型船用柴油机、汽轮机、重型机器的制造和新产品的试制等。

因为单件生产的工厂需要生产种类不同并且少数量的产品,所以在生产组织上的灵活性比较大。

2) 成批生产

成批次地制造相同的产品,并按一定的时期交替地重复。批量指的就是每一批生产的同一产品或工件的数目。以批量的多少为依据,可将成批生产划分成大批量生产、中批量生产和小批量生产 3 种类型。大批量生产与在量生产非常相似,其产品数目大但类型定量;小批量生产与单件生产相似,其产品数目小但产品类型比较多;位于大批量生产与小批量生产中间则是中批量生产的显著特征。

3) 大量生产

当有很大数量的产品时,在每台机床或者设备上持续反复地进行某工作的一个工序的生产方式就称为大量生产。如汽车、汽车内燃机、内燃机上某些零件及附件的专业化生产等,均采用这种大量生产方式。

大量生产方式大多使用专用机床,组织生产是根据流水的方式进行,适合使用自动化技术,所以生产率较高、成本低。

生产量与生产类型之间的关系及其工艺特点,见表 1-2。

表 1-2 生产量、生产类型与工艺特点

生产类型		单件生产	成批生产			大量生产
			小批	中批	大批	
生产量	重型机械	<5	5~100	100~300	300~1 000	>1 000
	中型机械	<20	20~200	200~500	500~5 000	>5 000
	轻型机械	<100	100~500	500~5 000	5 000~50 000	>50 000
工艺特点	毛坯特点	用木模手工造型及自由锻,毛坯精度低,加工余量大	用金属模造型及模锻,部分采用精铸、碾压与空心锻造等先进方法,毛坯精度及加工余量中等			广泛采用机器造型及精铸、碾压与精锻等先进方法,毛坯精度高,加工余量小
	机床设备	通用机床,部分采用数控机床及加工中心	通用机床,部分采用专用机床、组合机床及柔性制造单元			广泛采用专用机床及自动机床
	设备布置形式	按机群式布置	按零件类别分工段排列			按流水线或自动生产线排列
	工艺装备	采用标准附件、通用夹具、刀具与量具	采用通用夹具,并广泛采用专用夹具、刀具和量具			广泛采用专用夹具、刀具和量具,并采用自动检测
	生产率	较低,可通过使用数控技术提高	中等			高
	成本	较高	中等			低

通常条件下,生产的类型不一样,进行工艺过程设计的具体水准也不一样。当进行单件生产时,往往仅单一地进行工艺路线的制订,在大量或成批生产时,则要详细地对其工艺规程进行设计。

1.2 机械加工工艺规程的制定

1.2.1 工艺规程的内容与作用

1.2.1.1 工艺规程的内容

将工艺过程的实施方法等根据一定的格式通过文件(或表格)的形式规定下来,这就是工艺规程。在生产准备作业中,工艺规程的制定具有非常重要的作用。通过规定的工艺规程对生产实施组织,对产品的经济性、质量和提升劳动生产率具有十分重要的意义。同时,工艺规程也是实施所有生产准备工作和生产辅助工作的根据。只有严格实施工艺规程,才能够建立起正常的生产秩序。工艺规程是一切与生产有关的人员都必须严格遵守并执行的纪律性文件。机械加工工艺规程涵盖的主要内容有工件加工工艺路线及所经过的车间和工段、所有工序的内容及使用的机床与工艺装备、工件的检验项目及检验方法、切削用量、工时定额及工人技术等级等。

1.2.1.2 工艺规程的作用

机械制造工艺规程的作用主要有以下几点。

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工艺理论与必要的工艺试验的基础上进行制定的,是理论和实践的结合,是一个部门或企业技术水平的表现。通过工艺规程组织生产,不仅能够使产品的质量得到保障,还可以确保较高的生产效率与经济效益。在生产过程中,通常要严格地实施已经规定的工艺规程。但工艺规程也并非固定不可改变的,工艺人员在不断概括工人的改革与创新、迅速地学习国内外先进技术的基础上,可以按规定的程序持续地改进并完善现行工艺,以确保可以更好地对生产进行指导。

2) 工艺规程是生产组织和管理工作的基本依据

在进行生产管理时,投入生产产品以前毛坯与原材料的提供、通用工艺设备的配置、机械负荷的调试与修整、专用工艺装备的设计与生产、编制作业计划、安排劳动力等,以上阐述的内容均是以工艺规程为基础的。

3) 工艺规程是新建或扩建工厂或车间的基本资料

在对工厂或者车间进行创建或扩建时,生产所需的机床和其他设备的数量、类型和规格,车间的大小、工人的工种、等级及数目等内容唯有在工艺规程与生产纲领好的基础上才可以正确地确定下来。

1.2.2 机械加工工艺规程的制定

1.2.2.1 制定工艺规程的原则

对工艺规程进行制定的原则是在确保产品质量的基础上,力求最好的经济效益。也就是在一定的生产条件下,以最低的成本、最少的劳动消耗和最快的速度,最可靠地制造出与图样要求相符合的零件。与此同时,还要注意以下几方面的问题。

1) 技术上的先进性

在对工艺规程进行制定时,应对现有的设备进行合理的利用,要明确该行业国内外工艺技术的发展情况,利用必要的工艺试验,踊跃利用合理的先进工艺与工艺设备。

2) 经济上的合理性

在一定的生产环境条件下,可供挑选的工艺方案可能会存在多种,要根据互相比对与核算,挑选出最合理的方案,使产品的能源、材料消耗和生产成本最低。

3) 有良好的劳动条件

在对工艺规程进行制订时,应确保在进行操作时,要有良好、安全的工作环境。在进行工艺方案的制定过程中,要选用机械化、自动化的措施,以使工人的体力劳动得以减轻。

1.2.2.2 制定工艺规程的原始资料

在对工艺规程实施制定时,通常要具有的原始资料如下:

(1) 产品的装配图和零件图。

(2) 产品验收的质量标准。

(3) 产品的生产纲领(年产量)。

(4) 毛坯资料。

(5) 现场的生产条件。其包括生产车间面积,加工设备的种类、规格、型号,现场起重能力,工装制造能力,工人的操作技术水平和操作习惯特点,质量控制和检测手段等。

(6) 国内外同类产品工艺技术的参考资料。

(7) 有关的工艺手册及图册。

1.2.2.3 制定工艺规程的步骤

(1) 了解并明白工艺规程制定的标准与生产条件,明确生产零件的类型和纲领,认识零件的结构工艺性。

(2) 确定毛坯,包括毛坯类型的选择,以及其生产方法。

(3) 拟定工艺路线,这是实施工艺规程制订的主要步骤。

(4) 确定所有工序的加工余量、计算工序尺寸及其公差。

- (5)确定所有主要工序的技术要求及检验方法。
- (6)对所有工序的切削用量与时间定额进行确定。
- (7)分析技术经济,挑选出最好的方案。
- (8)对工艺文件进行填写。

1.2.3 制定机械加工工艺规程的主要问题

1.2.3.1 零件的工艺分析

在符合使用需求的条件下,设计生产的零件能够制造的可行性与经济性叫作零件的结构工艺性。它通常涵盖零件的所有制造过程中的工艺性,如零件结构的铸造、锻造、热处理、切削加工工艺性等。显而易见,零件结构工艺性牵涉的范围非常广,并具备综合性的特点,分析时一定要周密、全面。在实施制定机械加工工艺规程时,分析零件的切削加工工艺性是其主要目的。

在不一样的生产条件、类型下,同一结构的制造经济性与可行性也大概会不相同。例如,双联斜齿轮的结构如图 1-5 所示,两个齿圈间的轴向距离极小,从而对小齿圈实施加工时不应该使用滚齿。加工时唯有利用插齿来进行。又因为插斜齿需专用螺旋导轨,因此其结构工艺性非常差。如果工厂可以使用电子束焊,首先将两个齿圈进行滚切,然后把它们焊为一个整体,这样的结构工艺就比较好,而且还可以使齿轮之间的轴向尺寸得到减小。如此看来,要通过具体的生产类型与生产条件对结构工艺性进行分析,结构工艺性具有相对性。从上述分析也可知道,只有熟悉制造工艺,有一定实践知识,并且掌握工艺理论才能分析零件结构工艺性。

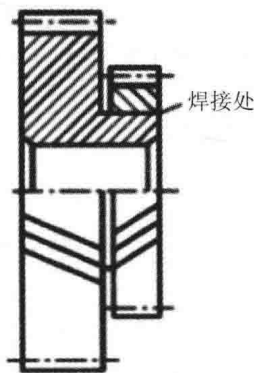


图 1-5 双联斜齿轮的结构

1.2.3.2 毛坯的选择

毛坯的大小和形状与成品零件越相似,也就是指毛坯会具有越高的精度,就会有越少的零件机械加工的劳动量,耗损的材料越少,于是使机械加工的生产效率得到了提升,