

机械制造工艺学

余 敏 主 编

(上册)

武汉工学院机制教研室

一九八五年七月

前 言

本节根据机械制造工艺及设备专业的《机械制造工艺学》教学大纲编写，共分机械加工工艺规程的制定，机械加工的精度，机械加工的表面质量，机械装配工艺等四章；为了适应工艺科学发展的需要，又增设了计算机辅助制造一章。

编写过程中，力求贯彻“少而精”，摒弃了那些烦琐的内容。我们对于精的理解是：基本内容讲得精练，有理论，有实际，重点突出，概念清楚，从整体上说有先进性；符合现代科学技术水平，适应“四化”需要。在叙述方法上，由浅入深，便于学生自学。

本书可作为高等学校机械制造工艺及设备专业的教材，也可供有此课程的其他专业选用，并可供从事机械制造方面工作的科技人员参考。

本书由张仲甫、田经纶、于康生、余立锦、余敏等同志编写，并由余敏同志主编。

对本书的批评和建议，请寄武汉工学院机一系。

作者 一九八五年

目 次

前 言

绪 论

第一章 机械加工工艺规程的制订.....(1-1)

§ 1—1 生产过程和工艺过程.....(1-1)

§ 1—2 工艺规程的作用.....(1-8)

§ 1—3 工艺规程的主要内容及制订步骤.....(1-14)

§ 1—4 机械加工工艺规程制订中的几个主要问题
.....(1-16)

§ 1—5 工艺尺寸的计算.....(1-44)

§ 1—6 时间定额.....(1-70)

§ 1—7 工艺方案的技术经济分析.....(1-72)

§ 1—8 提高劳动生产率的基本途径.....(1-77)

§ 1—9 制订机械加工工艺规程实例.....(1-94)

第二章 机械加工的精度.....(2-1)

§ 2—1 加工精度与加工误差.....(2-1)

§ 2—2 获得规定的加工精度的方法.....(2-3)

§ 2—3 影响加工精度的因素.....(2-6)

§ 2—4 加工原理误差.....(2-8)

§ 2—5 机床的制造误差与磨损.....(2-10)

§ 2—6 工艺系统受力变形引起的误差.....(2-26)

§ 2—7 工艺系统热变形引起的误差.....(2-53)

§ 2—8 工件内应力所引起的误差.....(2-70)

§ 2—9	夹具误差	(2—74)
§ 2—10	调整误差	(2—75)
§ 2—11	加工误差的综合分析	(2—78)
§ 2—12	机床调整和调整尺寸的计算	(2—105)
§ 2—13	分析解决加工精度问题的实例	(2—110)
第三章 机械加工的表面质量		(3—1)
§ 3—1	概述	(3—1)
§ 3—2	表面质量对零件使用性能的影响	(3—3)
§ 3—3	表面光洁度	(3—6)
§ 3—4	金属表面层的冷硬现象	(3—17)
§ 3—5	磨削烧伤	(3—23)
§ 3—6	残余应力	(3—27)
§ 3—7	机械加工中的振动	(3—34)
第四章 机械装配工艺		(4—1)
§ 4—1	概述	(4—2)
§ 4—2	机械结构的装配工艺性	(4—12)
§ 4—3	装配工艺规程的制订	(4—17)
§ 4—4	装配尺寸链	(4—26)
§ 4—5	达到规定的装配精度的方法	(4—31)
§ 4—6	装配工艺规程实例	(4—63)
第五章 计算机辅助制造		(5—1)
§ 5—1	工艺数据库	(5—1)
§ 5—2	制造系统的输入信息	(5—6)
§ 5—3	计算机辅助零件分类	(5—10)
§ 5—4	计算机辅助工艺过程设计	(5—20)
§ 5—5	计算机数字控制	(5—32)

绪 论

“机械制造工艺学”是研究怎样把毛坯加工成零件和把零件装配成机器的科学。

学习本课程的目的主要有两方面：

1、使学生掌握机械制造工艺的基本理论知识，掌握机械加工和装配工艺规程制订的原则、步骤和方法；以便在经过一段时间的生产实践后，能够根据具体生产条件，制订出切实可行，经济合理的工艺规程。

2、使学生对具体工艺问题能够进行综合分析，并提出保证质量、提高生产率和降低成本的工艺方法。

对于机械制造专业的学生来说，学习“机械制造工艺学”的重要性是众所周知的。没有近代机械制造工艺的成就，人便不可能登上月球，航天技术便不能发展。有很多国家，如英、法、意大利等，他们在理论科学的研究方面，潜力是很大的，但因不够重视机械制造工艺，在技术经济方面一直处于第二流地位。德国便不同了，很重视技巧和经验，能工巧匠有较高的社会地位。因此，德国虽然发展较迟，但经济上却赶上而且超过了其他欧洲国家。美国则更进一步把工艺放在很重要的地位，所以成为资本主义世界最发达的国家。

我国建国三十五年来，在党和政府的领导下，机械工业得到飞跃的发展。各种机械产品如机床、汽车、飞机、武器、重型机械、仪表等的生产都具有相当的规模，已具有了产品门类基本齐全、布局基本合理的机械制造工业体系。二十世纪的后十年，我国国民经济将处于振兴时期，总产值要翻两番。据估计，机械工业要以1.3倍的速度增

长才能满足需要。因此，作为机械工业基础的机械制造工艺，面临着十分艰巨的任务。

目前机械工业的现状与此是很不相称的。同国外先进水平相比，综合性的差距表现在：质量差、品种少、水平低。质量方面，我们的国标、部标都低于国际标准，而多数企业又以达到此标准为满足，甚至还达不到。我们的水平与国外先进水平相比，要落后二十至三十年左右。技术上的落后影响了产品质量的稳定和提高。一个最基本的问题，就是机械制造工艺水平低。各类设备的加工精度普遍比国外低1~2个等级。要使产品在1990年达到国际标准，根本上取决于制造工艺。“我们机械工业就落后在工艺上”，这句话确实击中了要害。

机械工业部于1984年11月中旬在常州召开了机械工业第三次工艺工作会议，会上一致认为，机械制造工艺是企业组织生产，指导生产的重要依据，是衡量企业生产技术水平的重要指标，是实现“上质量、上品种、上水平，提高经济效益（三上一提高）”的重要保证。会议提出了今后工艺工作的目标和任务：第一步，到1990年，即“七五”计划末期，机械工业骨干和重点企业的制造工艺技术，应达到工业先进国家七十年代已经普及的水平；第二步，到2000年，重点企业，特别是骨干企业的工艺应达到工业先进国家的八十年代后期的先进水平，某些领域要达到当时的国际水平。

机械制造工艺中的问题，一般可以从质量，生产率和经济性这三个方面来考察。

机械制造工艺的主要发展趋势之一是不断地提高产品的制造

质量。加工精度在近几十年来有很大的提高。本世纪初达到0.01毫米。六十年代以来，超精密加工的精度正在从0.1~0.01微米向毫微米（0.001微米）前进。这时需要采用以材料学为中心的综合技术。预计将来的超精密加工方法可能成为一门跨学科工程学，国外称这种技术为毫微技术。另一方面是提高机械加工的表面质量。过去我们只注意加工表面的粗糙度，波纹度和纹理等表面特征，忽视了表面之下0.38毫米范围内的内部效应，即次表面效应，影响零件的可靠性。要加强这方面的研究，采取相应措施，才能提高产品的使用寿命和可靠性。

机械制造工艺的另外一个重要发展趋势是不断地提高劳动生产率。即采用高效率的工艺方法和装备，实现机械制造工艺过程的自动化。

提高切削加工效率的途径有两方面，一方面是在传统的切削加工方法基础上提高切削效率。例如采用新的高效率刀具材料，犹如过去由工具钢刀具发展到高速钢，又发展到硬质合金一样，现在有超高速钢，碳化氮化物涂层的硬质合金刀片、陶瓷刀片、人造金刚石刀具、聚晶金刚石和聚晶立方氮化硼刀具等，这些新型材料刀具的应用，使切削速度成倍地提高。还有强力磨削，缓进给磨削等高效率工艺方法。国外车削钢的切削速度通常为200米/分，最高达915米/分。用带金刚石刀头的大直径平面铣刀加工铝合金的切削速度达3600米/分。磨削速度国外达60~100米/秒或更高。重型磨床一次磨削深度达20毫米，工件每转进给量达1毫米。国外航天部门研究高速铣削铝件时，切深3英寸，主轴转速25,000转/分~30,000转/分，进

给量100英吋/分。高速切削时，大部分热量由切屑带走，而传到工件上的热量很少。切削速度越高，工件温度越低而切屑越热。据报道，当切削速度超过50,000英尺/分时，工件表面上几乎测不出温度变化。若进一步提高切削速度，切屑将成为熔化的液滴状或金属雾状。普通的刀具材料，几何形状以及机床都不能适应这种高速切削。估计将要研究激光辅助加工，使用高温激光束来软化刀具前面的金属（工件），以加速材料的切除。

提高切削加工效率的另一途径是采用和创造新的加工方法，以解决传统方法不能胜任的加工。如新兴工业需要多种难加工材料的加工，复杂型面，型腔零件以及特小深孔的加工，这些方面现在应用最多的是电火花加工，电化学加工，超声波加工，电子束加工，激光加工等。

工艺过程自动化，最大限度地减少机械加工的辅助时间和生产准备时间。国际上有一个公认的数据；当前机械制造业中的机械加工，从投入毛坯到零件加工完成的过程总时间为100，在机床上加工的时间只占5%，其余95%的时间是在工厂生产过程中储存，运送、周转，等待上机床等。而在机床上加工的时间中，真正切削加工的时间只占30%，辅助时间（空行程、夹紧、转位、退刀、换刀等）却占70%。由此可见，提高劳动生产率，首先在于提高加工过程连续性的程度。要改善工厂的生产组织与管理。近二十年来，以电子技术为基础的自动化机床发展很快，出现了数控机床，计算机数控机床，适应控制机床，群控加工设备等等。加工工艺组织方面则出现了成组技术。工艺组织与工艺装备相互促进，相互结合地发展，出现了加工中心、机械人、柔

性加工单元，乃至计算机辅助设计，辅助制造的柔性加工系统。这方面我国当前水平与国外先进水平的差距还相当大，必须急起直追，迎头赶上。

机械制造工艺中的经济性是与质量、生产率有密切联系的一个综合性问题。在给定的生产对象和技术要求的条件下，选择什么工艺方法和什么工艺设备来生产，就需要通过经济分析或经济论证加以确定。为了提高产品的制造质量或者提高劳动生产率而实行某种新的工艺措施时，也必须考察最后获得的经济效果。

质量、生产率和经济性三者之间具有辩证关系，在解决某一具体的工艺技术问题，需要全面地加以考虑。学习“机械制造工艺学”，要求学生逐步树立这种综合考虑问题，注意经济效果的思想。

在学习“机械制造工艺学”之前，必须自学“机械制造工艺学预备知识”，熟悉零件各种表面的加工方法。学习本课程之前的先修课有“金属工艺学”、“金属切削原理及刀具”、“金属切削机床”、“互换性与技术测量”、“金属材料与热处理”等，有了这些方面的基础知识，对本课程中所讨论的各种问题才易于理解接受。

本课程的特点是与生产实际的关系极为密切，学生应重视实践性的教学环节，应具有一定的机床操作经验和工厂生产知识。学习时要注意联系实际，学会灵活运用所学知识分析实际问题；并关心工人群众的创造革新和工艺技术研究成果，扩大知识面，提高工作能力。

第一章 机械加工工艺规程的制订

§ 1—1 生产过程和工艺过程

一、生产过程

一般地讲，生产过程是指将自然资源经过人们的劳动，生产成为有用产品的整个过程。制造机械时，由原材料到成品之间各个相互关联的劳动过程的总和，称为机械的生产过程。其中包括：

1. 原材料的运输保存；
2. 生产准备工作；
3. 毛坯制造；
4. 毛坯经机械加工而成为零件；
5. 零件装配成机器；
6. 检验及试车；
7. 机器的油漆和包装。

工厂的生产过程，又可按车间分为若干车间的生产过程。某一车间所用的原材料（半成品），可能是另一车间的成品，而它的成品，又可是某一车间的半成品。

一部机器的生产过程，往往是由许多工厂联合起来完成的。这除了较经济外，还便于各个工厂按其产品的不同实现专业化生产。例如：冶金工厂，铸造工厂，电机制造厂和专门制造紧固件（螺钉、螺母等）的工厂。一个汽车制造厂就要利用许多其它工厂的成品（玻璃、电气设备、轮胎、仪表等），来完成整个汽车的生产过程。拖拉机制造厂，机床制造厂等也都是如此。这时，某工

厂所用的原材料、半成品或部件，却是另一些工厂的成品。

三 工艺过程和工艺规程

机械加工车间的生产过程不仅包括零件在机床上的加工，而且还包括生产的各项准备工作、质量检查、运输、仓库保管等等。其中直接改变毛坯的形状、尺寸和材料性能，使之变为成品的这个过程，是该车间生产过程的主要部分，我们称之为机械加工工艺过程。把工艺过程的有关内容，用表格的形式写出来，称为机械加工工艺规程。

同样，装配车间将零件装配成机器的这个过程，是该车间生产过程的主要部分，称为装配工艺过程。其工艺文件所定下的规程称为装配工艺规程。

三 工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一系列的工序组合而成，毛坯依次地通过这些工序而变为成品。

工序 一个（或一组）工人在一个工作地点，所连续完成一个（或同时几个）零件加工过程中的某一部分工作，称为一个工序。一个零件，往往是经过若干个工序而制成成品的。例如图 1—1 所示之轴（技术要求没有表示出来），若其外圆表面需加工到 IT7 级精度，则它的工艺过程共包括五个工序，如表 1—1。

图 1—1 阶梯轴毛坯及零件

表 1—1

工序编号	工序名称	工作地点
1	铣端面打顶尖孔	顶尖孔机床
2	车外圆	车床
3	铣键槽	铣床
4	磨外圆	磨床
5	去毛刺	钳工台

工序是工艺过程的基本组成部分，并且是生产计划的基本单元。

在同一道工序中，零件在加工位置上，可能只装夹一次（装夹是指工件定位和夹紧这一整个过程），也可能装夹几次。但应尽可能减少装夹次数，因为多一次装夹，就多一次误差，而且增加装卸工件的辅助时间。因此，在生产中常采用不须重新卸装工件而能改变工件位置以加工不同表面的夹具（即各种回转夹具）。

工位 一次装夹后，加工过程中工件如需作若干次位置的改变，则工件在机床上所占的每一个位置（每一位置有一个或一组相应的加工表面）上所进行的那部分加工过程，称为一个工位。如图 1—2，在具有回转工作台的专用铣床上，有三个工位（工位 2、工位 3 和工位 4）分别加工零件的三个表面，工位 1 装卸

图 1—2 包括四个工位的工序
1—3

工件。这说明，此工序包括四个工位。

采用多工位加工，可以减少装夹次数。

工步 某些情况下工序又可分成若干工步，以各种不同的切削工具和切削用量加工不同的表面。其中以同样工具，同样切削用量加工同一个或同一组表面的那部分工作称为一个工步。

图 1—3 所示为在六角自动车床上加工零件的工序，它包括六个工步。

图 1—3 包括六个工步的工序

用几把刀具同时分别加工几个表面的工步称为复合工步。复合工步在工艺规程中也写作一个工步。

如果几个加工表面完全相同，所用的刀具及切削用量亦不变，则在工艺规程上是把它们当作一个工步看待。如图 1—4，在工件上钻四个 $\varnothing 15$ 毫米的孔，用一个钻头顺次进行加工，如果这还不是全部工序，则钻削全部孔的这部分加工过程，算作一个工步。

图 1—4 包括四个相同加工表面的工步

走刀 一个工步中若所需切去的金属层很厚，不能一次切完，则可分几次切削，每一次切削就是一次走刀，如图 1—5 所示。

图 1—5 以棒料制造阶梯轴

四 生产类型及其工艺特点

在制订工艺规程时，应知道产品的生产纲领及该零件的生产纲领（即年产量）。生产纲领对工厂的生产过程和生产组织起决定性作用。生产纲领不同，各工作地点的专业化程度，所采用的工艺方法，机床设备和工艺装备亦不相同。

某零件的生产纲领就是包括备品和废品在内的年产量，通常按下式计算：

$$N = Q \cdot n \cdot (1 + a\% + b\%)$$

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）；

$a\%$ ——备品率；

$b\%$ ——废品率。

生产纲领不同，生产规模也不同。一般工厂可按年生产纲领的大小分为单件生产，成批生产和大量生产三种生产类型。它们的工艺特点如下：

1. 单件生产——单个地生产不同结构和不同尺寸的产品，

并且很少重复。例如，重型机器制造，专用设备制造和新产品试制等。

2 成批生产——一年中分批地制造相同的产品，生产呈周期性的重复。例如，机床制造就是比较典型的成批生产。每批制造的相同产品的数量称为批量。根据批量大小，成批生产又可分为小批，中批和大批生产三种类型。小批生产与单件生产的工艺特点十分接近。大批生产与大量生产的工艺特点比较接近，两者常常相提并论。中批生产的工艺特点介于单件生产与大量生产之间。

3 大量生产——产品生产纲领很大，大多数工作地点长期进行某一个零件的某道工序。例如，汽车、拖拉机、轴承等的制造通常都属于大量生产。

各种生产类型与生产纲领的关系可参考表1—2。

表1—2 生产类型与生产纲领的关系

生产类型	重型机械	中型机械	小型机械
单件生产	< 5	< 20	< 100
小批生产	5 ~ 100	20 ~ 200	100 ~ 500
中批生产	/	200 ~ 500	500 ~ 5000
大批生产	/	500 ~ 5000	5000 ~ 50000
大量生产	/	> 5000	> 50000

注：重型机械、中型机械和小型机械可分别以轧钢机、柴油机和缝纫机作代表。

生产类型也可用反映工序重复程度的工序固定系数来定量地划分。工序固定系数为每月完成全部不同工艺工序数目和工作地点总数目之比，即：

$$K = Q / P$$

当

$$K = 1$$

大量生产

$$1 < K < 10$$

大批生产

$$10 < K < 20$$

中批生产

$$20 < K < 40$$

小批生产

例如：12个工作地点，其中第1、2、3、7、10工作地点是单工序；第4、5、12工作地点是双工序；其余工作地点是三工序。则：

$$K = \frac{(1 \times 5) + (2 \times 3) + (3 \times 4)}{12} = 1.9$$

计算结果属大批生产。

各种生产类型的工艺特点见表1—3。

表1—3 各种生产类型的工艺特点

特 点	单 位 生 产	成 批 生 产	大 量 生 产
工件的互换性	一般是配对制造，没有互换性，广泛用钳工修配。	大部分有互换性，少数用钳工修配。	全部有互换性。某些精度较高的配合件用分组选择装配法。
毛坯的制造方法及加工余量	铸件用木模手工造型；锻件用自由锻。毛坯精度低，加工余量大。	部分铸件用金属模；部分锻件用锻模。毛坯精度中等，加工余量中等。	铸件广泛采用金属模机器造型，锻件广泛采用模锻，及其它高生产率的毛坯制造方法。毛坯精度高，加工余量小。

续表

机床设备	通用机床。按机床种类及大小采用“机群式”排列。	部分通用机床和部分高生产率机床。按加工零件类别分工段排列。	广泛采用高生产率的专用机床及自动机床。按流水线形式排列。
夹 具	多用标准附件，极少采用夹具，靠划线及试切法达到精度要求。	广泛采用夹具，部分靠划线法达到精度要求。	广泛采用高生产率夹具，靠夹具及调整法达到精度要求。
刀具与量具	采用通用刀具和万能量具。	较多采用专用刀具及专用量具。	广泛采用高生产率刀具和量具。
对工人的要求	需要技术熟练的工人。	需要一定熟练程度的工人。	对操作工人的技术要求较低，对调整工人的技术要求较高。
工艺规程	有简单的工艺路线卡。	有工艺规程，对关键零件有详细的工艺规程。	有详细的工艺规程。

§ 1—2 工艺规程的作用

各厂所用机械加工工艺规程的具体格式虽不统一，但大同小异。单件小批生产中，一般只编制工艺过程综合卡片，内容比较简单，上面有产品的名称和型号、零件的名称和件号、毛坯种类和材料等。此外还有工序的顺序号、工序的名称和内容，完成各工序的车间、所用的机床型号和工艺装备（刀具、夹具、量具）的名称及其编号、工时定额等。对于关键零件或复杂零件则编制较详细的工艺过程卡片。在成批生产中多采用机械加工工艺卡片，除上述内容外，还要说明每个工序和工步加工的表面，要求达到