

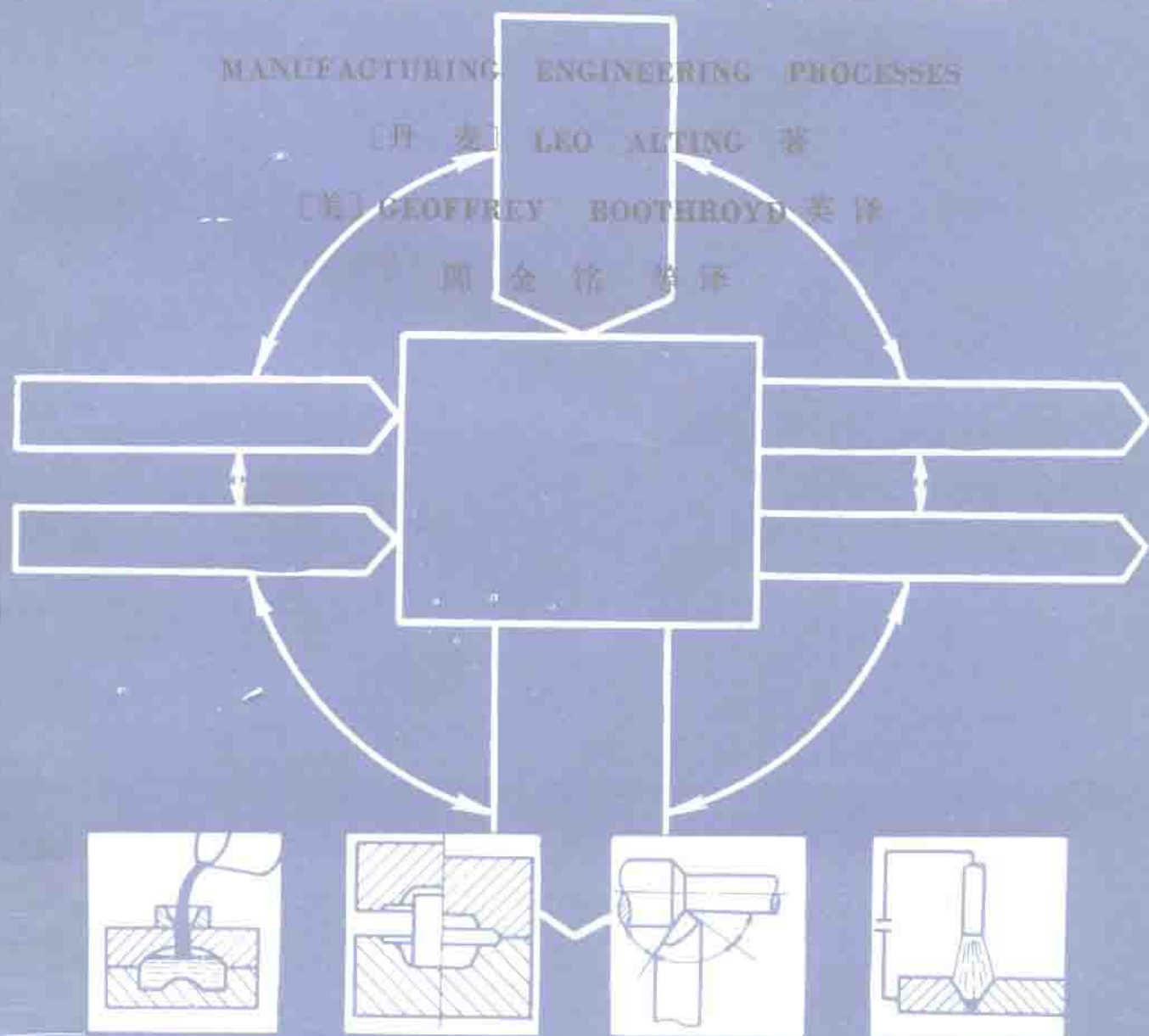
制造工艺过程

MANUFACTURING ENGINEERING PROCESSES

[丹 麦] LEO ALTING 著

[美] GEOFFREY BOOTHROYD 英译

周金铭 等译



北京航空學院出版社

制 造 工 艺 过 程

^{廖 阿子庭}
[丹麦] LEO ALTING 原著

[美] GEOFFREY BOOTHROYD 英译

閻金銘 邓春福 齐桂森 来守正 译

王祖誠 校

北京航空學院出版社

内 容 简 介

本书系根据丹麦工业大学廖·阿尔廷教授所著《Grundlaeggende Mekanisk Teknologi》一书的1982年版英译本译出。

本书是一本按新体系编写的金属工学（机械制造工艺基础）教材，其主要特点是采用工艺形态学结构对各种加工方法进行原理性分析与综合比较。与一般工艺学教材相比，本书有较强的系统性及理论性，有助于读者对各种工艺的可能性与局限性作出迅速评价。

本书共分十二章。分别论述工艺形态学模型，材料性能，工程材料，金属加工基本原理，工艺分类，固态材料的质量不变工艺（锻造，轧制，冲压），固态材料的质量减少工艺（切削加工，电火花加工，电解加工），固态材料的连接工艺（焊接、粘结），颗粒材料的质量不变工艺（粉末冶金），液态材料的质量不变工艺（铸造），塑料与塑料加工，工业安全等。

本书可供高等工科院校机械类及非机械类专业，作为教科书；管理类专业及职大，函大作为金工教学参考书。亦可供工程技术人员及企业管理人员作参考之用。

制 造 工 艺 过 程

[丹麦] LEO ALTING 著

閻金銘 邓春福 齐桂森 来守正 译

王祖誠 校

責任編輯 肖之中

北京航空学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京航空学院印刷厂排印 通县兔子店印刷厂装订

787×1092 1/16 印张：15 字数：384 千字

1986年7月第一版 1986年7月第一次印刷 印数：10000册

统一书号：15432·023 定价：3.55元

译 者 的 话

国内外许多金属工艺学教材多为纯叙述型。有些则内容陈旧,远远落后于现代科技发展;有些把各种工艺分别单独孤立论述,缺乏横向分析比较,不利于学生综合运用知识能力的培养;有些则纯技术性叙述,缺乏对技术课题的经济分析,不利于学生技术经济观点的培养。

丹麦工业大学廖·阿尔廷(Leo Alting)教授所著《制造工艺学》(*Grundlaeggende Mekanisk Teknologi*)突破了原有的金属工艺学教材将各种加工方法单独孤立论述的传统体系与纯叙述性模式。而是采用工艺形态学模型,通过各种工艺所共有的三个基本要素:材料、能量、信息的变化与作用,对各种加工方法进行横向分析与综合论述。形成独特,新颖的工艺形态学体系。这种新体系的优点是:

一、采用大量框图、简图、流程图、原理图、图表及表格对各种工艺作原理性描述。使学生迅速理解各种工艺过程的实质、原理与特点,比较快地建立起各种工艺过程的清晰概念。

二、对各种工艺作横向综合,分析比较。使学生对各种工艺的可能性与局限性迅速地作出判断与评价。

三、把加工方法与材料变化,能量转变结合起来,有助于培养学生的技术经济观点。

四、用工艺形态学结构对各种工艺进行综合分析,有助于培养学生的科学分析与综合归纳能力,以及创造性地运用知识分析解决问题的能力。

五、用形状信息及性能信息的变化分析各种加工方法,便于实现工艺参数的典型化,系统化,为计算机技术与本课程的结合打下基础。

原书在丹麦工业大学连续使用七年,获得令人鼓舞的教学效果。1982年由美国麻省大学乔弗雷·布斯洛德(Geoffrey Boothroyd)博士翻译出版。本书系根据乔·布斯洛德博士1982年版英译本翻译。

一定的教材体系反映一定的教学法体系。本书在教材体系方面的突破反映了国外金工教学从注入式向启发式教学的转化,从以教师讲授为主向以学生自学为主的转化,从传授知识向培养能力、开发智力的转化。

当前,正处于教学改革高潮。各院校正酝酿着对金属工艺学教材及教学法传统体系进行改革。又鉴于管理类专业蓬勃兴起,苦于缺乏具有“精、广、新”特色的技术与经济相结合的教材。引进此教材,希望能对金属工艺学课程的教学改革及管理类专业金工教材的建设有所裨益。

本书在译校及出版过程中得到北京航空学院师启人等同志的热情帮助。清华大学李家枢同志、辽宁财经学院顾德瑞同志对此书提出了宝贵建议,在此深表谢意。

由于我们水平有限,经验不足,难免有缺点和错误,热诚希望广大读者给予批评指正。

译者 1985.8.

英译本前言

本书在工艺过程分类的这体制的基础上对机械制造的课题进行讨论，便于读者明了某种加工方法在整个工艺过程中所适合的位置及制造某种另件最适宜采用的加工方法。

书中各课题的论述对初学者来说浅显易懂，解析充分，适宜用作机械制造高等院校的前导课程教材。本书最突出的优点在于用数据图表的形式对各种制造工艺过程进行综合阐述。

机械制造工艺的前导课程教材已有多种版本，但有些版本是没有共同主题或基本结构的单独章节的罗列；大多数版本是纯叙述性的，不能引起想在教学中对各种工艺作分析讲授的教师们的兴趣；少数又过多地偏重于工艺分析。有些版本只是集中叙述工艺过程的机械部分或象切削，成形等一些机械加工类型的工艺过程，而忽视象焊接、铸造、粉末冶金等一些冶金或化学类型的工艺过程。本书无此种弊端。

在美国，机械制造工程这门课程长期以来被人们忽视。这本教材对纠正这种状况可能会有所裨益。

乔弗雷·布斯洛德

原版序言

在工业社会里，机械制造工程是一门重要课程。可是，多年来，在为满足工业及社会需要而设置的课程中，制造工艺并未得到应有的地位和重视。

造成这种状况的部分原因是由于在机械制造领域中很多科学方法及技术手段未得到充分应用。这一领域一直被人们认为是技术员及熟练技工的工作范围。在工业大学及工学院里，机械制造工艺这门课一直是用传统的叙述方式讲授。这种讲授方式不能激起学生或见习工程师们的竞争兴趣。

近十多年来，科学技术的飞速发展。例如，计算技术及计算机在设计(CAD)和制造(CAM)中的应用，要求从事机械制造的人员必需具有解决实际问题的更系统的技术方法。

本书在开发机械制造工程的系统研究方面迈出了第一步。这一使命主要是通过本书的以下特色来实现的：

本书提供了机械制造工艺过程的系统而连贯的概念。

本书使有可能对生产某种零件所适用的加工方法的可能性与局限性作出迅速评价。

本书为新工艺系统的开发，工具模具系统的设计，生产设备及生产系统的系统设计打下基础。

此外，本书以科学的系统的方式进行阐述以激发学生的想象力与综合运用知识的能力。

为了达到上述目的，必须以新的观点来认识机械制造过程。按照传统方式，对多种工艺过程都分别进行讨论，对每种加工方法进行专门论述。当对不同的工艺过程进行分析时，就发现所有的工艺过程都可以用由几个基本要素构成的通用工艺模型来描述。把这些要素综合起来，就建立了对各种工艺（包括尚未开发的新工艺）都适用的所谓工艺形态学(morphology)。本书第一章简要地阐述了这种模型。从第五章到第十一章的各种工艺过程都是按照第一章所提供的模型组织并阐述的。应当指出，第十章铸造与第十一章塑料工艺未完全按新模型展开。希望读者做这种有益的尝试。

为了向读者提供理解各种工艺过程所必须的基础知识，第二、三、四章分别对材料性能，工程材料及金属加工基本原理（塑性理论）作简要介绍。

第十二章介绍工业安全这个课题，以提示读者，一种机械制造工艺过程的可行性不应单独从技术和经济的观点来确定。

本书作为教科书已在丹麦工业大学使用七年，并取得令人鼓舞的效果。本书供一个学期使用，课堂讲授42学时，课外作业及复习约80学时。书后附有习题，其中一些习题可在专门的习题课上讨论。如果本课程的讲授与车间实习同时进行，则教学效果更佳。

希望更多的工业大学与工学院能把本书用作机械制造工程的前导课程教材。

感谢 G. Boothroyd 博士对此书的编著提供了有益的意见与宝贵建议。对 Brigham Young大学 Dell K. Allen教授的审阅与修改深表谢意。

廖·阿尔廷

目 录

译者的话	
英译本前言	
原版序言	

第一章 工艺形态模型

§ 1.1 绪言	1
§ 1.2 制造工艺过程的基本结构	1
1.2.1 总的工艺模型	1
1.2.2 工艺过程的形态学结构	3
§ 1.3 材料流程系统	4
1.3.1 材料状态	4
1.3.2 基本过程	5
1.3.3 流程类型 (过程类型)	6
§ 1.4 制造工艺过程举例	7
1.4.1 锻造	7
1.4.2 轧制	8
1.4.3 粉末压实	8
1.4.4 铸造	8
1.4.5 车削	9
1.4.6 电火花加工	10
1.4.7 电化学加工	10
1.4.8 火焰切割	10
§ 1.5 能量流程系统	10
1.5.1 机械基本过程的能量流程	11
1.5.2 热基本过程的能量流程	15
1.5.3 化学基本过程的能量流程	20
1.5.4 传递介质	20
§ 1.6 信息流程系统	21
1.6.1 质量不变过程 ($dM=0$) 的信息流程	23
1.6.2 质量减少过程 ($dM<0$) 的信息流程	26
1.6.3 装配与连接过程的信息流程	29
§ 1.7 小结	30

第二章 工程材料的性能

§ 2.1 绪言	31
----------	----

§ 2.2 材料的性能	31
§ 2.3 材料的机械性能	32
2.3.1 拉伸试验 (应力—应变图)	32
2.3.2 硬度试验	36
2.3.3 动力学试验	38
2.3.4 蠕变试验	39

第三章 工程材料

§ 3.1 绪言	40
§ 3.2 机械制造用材料的重要性能	40
3.2.1 液态材料的成形	40
3.2.2 固态材料成形	41
3.2.3 颗粒状材料的成形	43
§ 3.3 工艺过程对材料性能的影响	43
§ 3.4 材料的分类	44
§ 3.5 金属材料	44
3.5.1 键和结构	44
3.5.2 提高强度的机理	45
§ 3.6 黑色金属	48
3.6.1 成分与合金化	48
3.6.2 钢的分类	50
3.6.3 铸铁	51
§ 3.7 有色金属	51
3.7.1 铜和铜合金	52
3.7.2 铝和铝合金	52
3.7.3 镁和镁合金	53
3.7.4 锌和锌合金	53
§ 3.8 塑料 (高分子聚合物)	53
3.8.1 热塑性塑料和热固性塑料	53
3.8.2 塑料的构成	54
3.8.3 一般使用性能	54
§ 3.9 陶瓷与玻璃	55
§ 3.10 复合材料	56
3.10.1 弥散硬化材料	56
3.10.2 粒子增强材料	56
3.10.3 纤维增强材料	56

第四章 金属加工的基本原理

§ 4.1 绪言	58
§ 4.2 二维与三维应力系统	58

§ 4.3 实际应力—实际应变曲线与塑性失稳	62
4.3.1 实际应力和实际应变	62
4.3.2 体积不变性	64
4.3.3 塑性失稳	65
4.3.4 应力—应变曲线解析模式	66
§ 4.4 屈服的判定	68
4.4.1 特雷斯克屈服判定准则	69
4.4.2 冯 米塞斯屈服判定准则	69
§ 4.5 有效应力和有效应变	71
§ 4.6 变形功	73

第五章 制造工艺分类

§ 5.1 绪言	75
§ 5.2 工艺分类	75

第六章 固体材料的质量不变工艺

§ 6.1 绪言	78
§ 6.2 质量不变工艺的特征	79
6.2.1 几何形状可能性	79
6.2.2 工艺条件	82
6.2.3 材料的重要特性	84
§ 6.3 质量不变工艺典型举例	85
§ 6.4 力和能量的确定	94
6.4.1 力和能量确定的基本方法	94
6.4.2 板材轧制：轧制力、力矩和功率的确定	95
6.4.3 挤压：挤压力的确定	96
6.4.4 拉丝：拉伸力和一次拉伸最大断面缩减率的确定	97
6.4.5 爆炸成形：装药量的确定	99
§ 6.5 小结	101

第七章 固态材料的质量减少工艺

§ 7.1 绪言	102
§ 7.2 质量减少工艺的特点	102
7.2.1 基本原理	102
7.2.2 基本定义	104
7.2.3 切屑形成	108
7.2.4 切削工艺条件	111
§ 7.3 几何形状可能性	121
7.3.1 单刃刀具	122

7.3.2 多刃刀具	125
7.3.3 无确定刃形多刃刀具	128
§ 7.4 质量减少工艺典型举例	131
§ 7.5 力与功率的确定	137
7.5.1 通用基础知识(计算方法)	137
7.5.2 车削中的切削力和功率	138
7.5.3 刨削中的切削力和功率	140
7.5.4 钻削中的力矩与功率	140
7.5.5 铣削中的功率消耗	142

第八章 固态材料的连接工艺

§ 8.1 绪言	144
§ 8.2 连接工艺的特点	145
§ 8.3 熔化焊	146
8.3.1 电弧焊(以电能为基础的熔化焊)	147
8.3.2 电子束焊与激光束焊(以电能为基础的熔化焊)	149
8.3.3 气焊(以化学能为基础的熔化焊)	150
8.3.4 熔化焊焊缝	150
§ 8.4 压力焊	151
8.4.1 冷焊	151
8.4.2 电阻焊	152
8.4.3 其它压力焊工艺	154
§ 8.5 应用填充材料(熔点低于工件材料)的连接工艺	
硬钎焊、软钎焊与粘接	155
8.5.1 软钎焊和硬钎焊	155
8.5.2 粘接	157
§ 8.6 连接方法综述	158

第九章 颗粒材料:粉末冶金

§ 9.1 绪言	160
§ 9.2 粉末冶金工艺的特点	160
9.2.1 金属粉末	161
9.2.2 粉末制备	162
9.2.3 粉末压型与压实	163
9.2.4 烧结	166
9.2.5 烧结后处理(精整工序)	167
§ 9.3 性能与应用	168
9.3.1 性能	168
9.3.2 应用	170

第十章 液态材料：铸造工艺过程

§ 10.1 绪言	172
§ 10.2 铸造工艺特点	173
§ 10.3 熔化（与成分控制）	174
10.3.1 金属化学（冶金学）	174
10.3.2 熔化温度	174
10.3.3 熔化能力和供料速度	175
10.3.4 熔化过程/熔化炉	175
§ 10.4 造型、浇注与凝固	177
10.4.1 造型	177
10.4.2 模型	179
10.4.3 浇注	182
10.4.4 凝固	183
§ 10.5 铸造工艺过程	183
10.5.1 砂型铸造	183
10.5.2 壳型铸造	186
10.5.3 熔模铸造	187
10.5.4 压铸	187
10.5.5 低压铸造	189
10.5.6 永久型（重力）铸造	189
10.5.7 其它铸造方法	189
§ 10.6 几何形状的可能性	190
10.6.1 绪言	190
10.6.2 一般设计原则	190

第十一章 塑料与塑料加工

§ 11.1 绪言	193
§ 11.2 塑料的加工性能	193
11.2.1 热塑性塑料	193
11.2.2 热固性塑料	194
§ 11.3 塑料加工方法	195
11.3.1 塑料的铸造成型	195
11.3.2 旋转模塑法	195
11.3.3 增强塑料与层压塑料	196
11.3.4 挤压成形	197
11.3.5 吹塑法	197
11.3.6 注塑法	198
11.3.7 压塑法和传递模塑法	199

11.3.8 热成型.....	199
11.3.9 塑料的连接.....	200

第十二章 工业安全

§ 12.1 绪言.....	201
§ 12.2 工业安全.....	201
§ 12.3 工业危险性与危险性分析.....	201
§ 12.4 政府法律及规定.....	202

参考文献	203
------------	-----

习 题	205
-----------	-----

部分习题答案	214
--------------	-----

附录 单位换算	215
---------------	-----

专业术语汉英对照表	218
-----------------	-----

第一章 工艺形态模型

§1.1 绪 言

工业生产中采用多种不同的工艺过程与造制方法。为了给一定产品选择技术先进又经济合理的制造程序，必须对各种造制工艺过程的可能性与局限性有广泛的基础知识，包括所用的工件材料，要求的几何形状，表面光洁度及公差等。

第一章并不详细讨论个别工艺过程。而是对各种工艺过程的共同结构提出清晰的图象。通过对这些结构要素的定义与研究对材料加工过程获得连贯而系统的认识。这种认识是以工程基础知识为根基，以便能对各种工艺过程的可能性与局限性做出评价。由于这种方法反映了各种工艺过程的内在关系、方法与基本原理，所以具有广泛用途。但本书只涉及机械制造业的工艺过程特点。

§1.2 制造工艺过程的基本结构

工艺过程可概括地定义为加工对象性能的变化，包括几何形状、硬度、状态、信息（形状数据）等的变化。为了产生任何一种性能变化，必须具备三个基本要素：（1）材料，（2）能量，（3）信息。根据加工的主要目的不同，工艺过程可能是一种材料的加工过程，能量转化过程或信息变化过程。在下面各节中只研究材料的加工过程，特别是材料的性能变化和（或）几何形状的改变。但这并不意味对基本原理的讨论的限制。

1.2.1 总的工艺模型

总的工艺模型可以用图1.1的框图表示。材料加工过程可以用有关的流程系统：材料流程、能量流程和信息流程来描述。

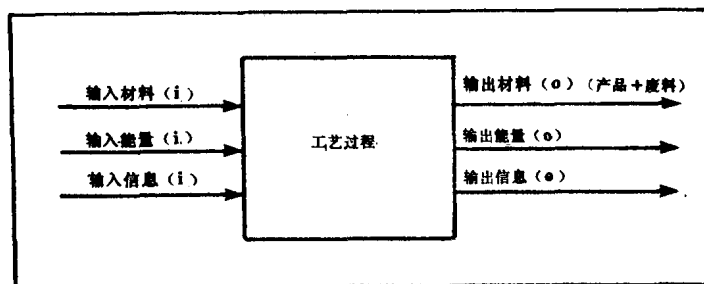


图1.1 总的工艺模型

图中 i —输入 o —输出

材料流程可分为三种主要类型，如图1.2所示。

1. 贯通流程，对应于质量不变过程。

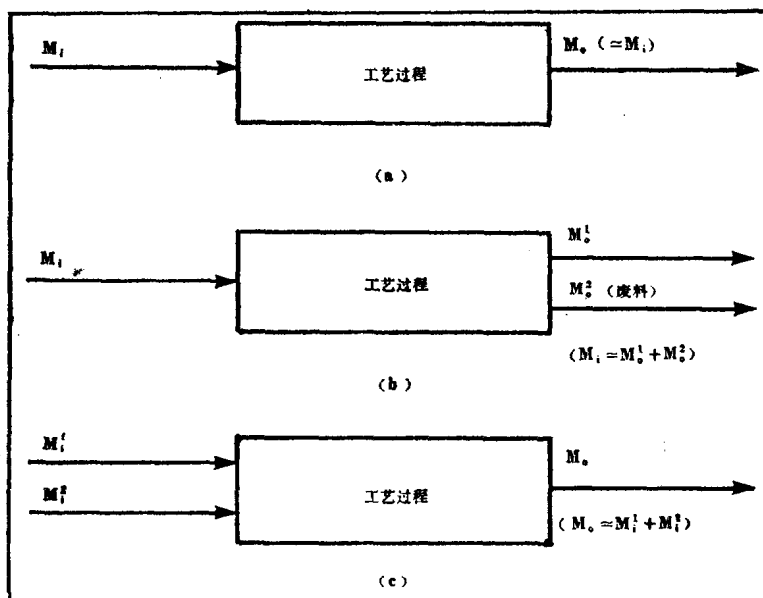


图1.2 材料流程的三种主要类型

(a) 质量不变过程 ($dM=0$) ; (b) 质量减少过程 ($dM<0$) ;
(c) 装配或质量增加过程 ($dM>0$) 。图中 M —材料质量, i —输入,
 o —输出。数字 1 与 2 指元件材料号码。

2. 发散流程, 对应于质量减少过程。

3. 收敛流程, 对应于装配或连接过程。

质量不变过程 ($dM=0$) 的特点是: 加工材料的初始质量等于 (或近似等于) 加工材料的最终质量。也就是说材料受控地改变几何形状。

质量减少过程 ($dM<0$) 的特点是: 零件最终的几何形状局限在材料的初始几何形状内。也就是说, 形状改变是通过去除一部分材料形成的。

装配或连接过程 (有时表示为 $dM>0$) 的特点是: 通过把前述一种或两种方法加工的若干零件装配或连接起来而得到最终几何形状。其最终形状的质量约等于各零件质量的和。

这三种材料流程都与被加工材料有关, 根据工艺过程不同, 可能还需要象润滑剂、冷却液、填料等辅助材料流程。应当指出, 大多数目的在于改变材料性能而形状没有变化的工艺过程都是质量不变过程 (热处理等)。

与工艺过程有关的能量流程可以用能源、能量传送至工件及能量的输出或损失来表征。

信息流程包括所谓形状信息与性能信息。某种材料的某种形状可以称为该材料的形状信息。在形状变化工艺过程中, 由于把形状变化信息加于材料, 最终形状信息等于材料的初始形状信息与工艺过程所施加的形状变化信息的和。形状变化信息是由刀具或模具 (具有一定形状信息量) 与加工材料与刀模具间的相对运动共同产生的。也就是说, 形状变化工艺过程的特点就是借助于能量流程把相应于信息流程的形状变化信息加于材料流程的过程。

形状变化信息可以通过一个或几个阶段加于材料, 即

$$I_0 = I_i + \Delta I_{p1} + \Delta I_{p2} + \dots + \Delta I_{pn} \quad (1.1)$$

式中 I_0 —要求几何形状

I_i —材料初始形状信息

I_{p_n} —单一工艺过程形状变化信息

所需要的加工工序数取决于技术原因和经济原因。

同样,性能信息流程(如硬度、强度等)包括材料初始性能与通过各种工艺过程材料产生的性能变化的和。

这三种基本流程系统在控制信息的制约下相互适当作用的结果生产出要求的零件。控制信息包括作用力、功率、摩擦与润滑及切削用量信息等。控制信息一部分是可解析的,一部分是经验数据,将在以后讨论。

图1.3在这三种流程系统的基础上表达了制造工艺过程的完整模型。本书将研究与机械制造工艺有关的各种材料流程,能量流程及形状与性能信息流程。

1.2.2 工艺过程的形态学结构

在分析制造工艺过程时,可以用与三种流程系统相关的几个基本要素建立的

总形状模型来描述各种制造工艺过程。把这些要素结合起来就形成工艺形态学。各种制造工艺过程都可从工艺形态学中推论出来。

工艺形态模型的基本要素是:

材料流程

基本过程

材料状态

流程类型(工艺类型)

能量流程

刀具/模具

能源

传递介质

设备

能量特点

能量种类

信息流程

表面形成(原理)

运动方式

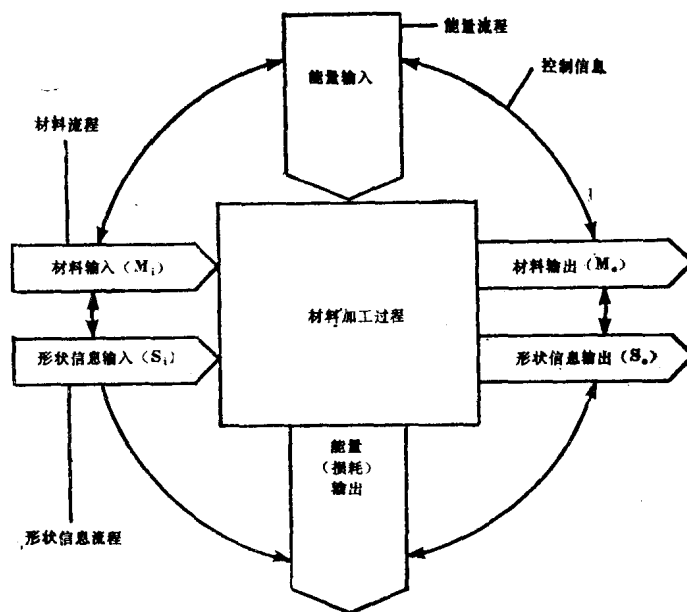


图1.3 材料工艺过程模型

材料

刀具/模具

如图1.4所示, 每个要素都可能有不同的“值”。从每一列中选取一个“值”便得到一种材料加工过程的基本原理。实际上, 有一些“值”组合是不可能的。但模型通常要包括建立工艺过程所必需的全部基本组成部分。这个形态模型提供了工艺过程的系统而连贯的图象, 使有可能对各种工艺过程的可能性和局限性作出迅速的综合评价, 也可用于新工艺概念的建立。

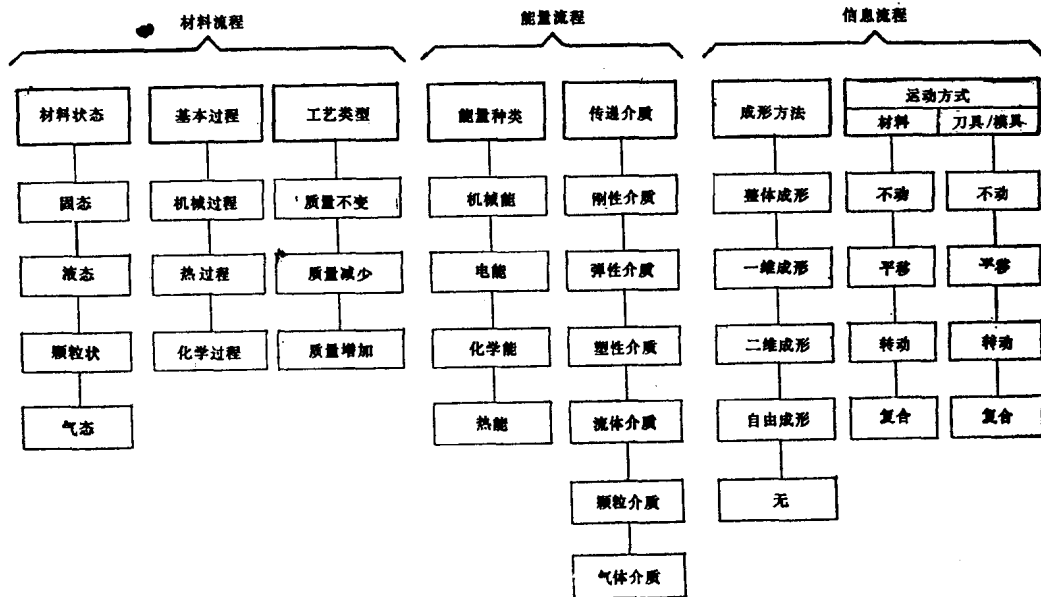


图1.4 材料加工过程的形态结构

为了运用这个模型, 必须具备各种要素的基本知识。因此, 下面讨论三种流程系统及其要素。

§1.3 材料流程系统

如图1.4所示, 材料流程涉及要改变形状或性能的材料状态, 可以产生这种形状或性能改变的基本过程和表征工艺过程特点的流程系统类型。

1.3.1 材料状态

可以加工的各种材料状态, 如图1.4所示为固态、液态、颗粒和气态。在加工复合材料时, 可能同时出现不同的材料状态。颗粒状态可以看作固态的细分, 因为固体可以分为连贯的固态或松散的固态(颗粒)材料。鉴于加工过程中工艺不同, 故仍保持固态材料与颗粒材料的通常分法。后面将谈到, 材料状态不同, 其工艺过程结构大不相同。除了材料的状态外, 材料的成分也很重要。为了获得对材料的新的概念和对(与基本过程有关的)材料成形性能作出评价, 把材料分为均质材料和非均质材料更为有利。

均质材料包括均质混合物、化合物及元素形式的纯材料。

非均质材料包括机械混合物。

根据研究的目的不同,各种材料可进一步用其热学、化学、机械及加工性能来表征。显然,在研究机械制造工艺过程时,关于材料及其性能的广泛知识是很重要的。

1.3.2 基本过程

基本过程定义为使材料几何形状和(或)性能产生变化的过程。基本过程通常用该过程对材料发生的作用性质来表征。一种制造工艺过程通常由一系列组成材料流程的基本过程构成。任何基本过程都可分为三个典型阶段:

第1阶段:由一些使材料形状或性能发生初步变化而处于适当状态的基本过程(如:加热、熔化、锯断、剪切等)组成。

第2阶段:由一些产生要求形状或性能变化的基本过程组成。

第3阶段:由一些使零件处于指定最终状态的基本过程(凝固、冷切、倒角等)组成。

图1.5表示制造工艺过程的阶段划分。第2阶段中的基本过程称为主要基本过程(视主要目的而定)。第1,3阶段中的基本过程称为辅助基本过程。在分析与设计制造工艺过程时,图1.5所表示的结构是很有用的。

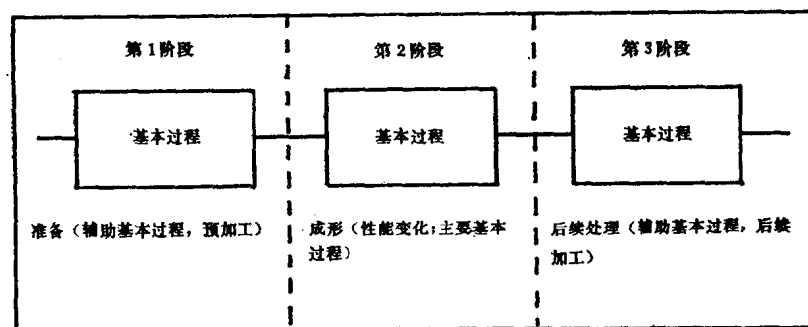


图1.5 制造工艺过程分为三个阶段

基本过程可分为表1.1所示的三种主要类型。每种类型都以该过程对材料作用的性质来表征。各种基本过程将在以后分别阐述。

表1.1 基本过程的三种主要类型

机 械 过 程	热 过 程	化 学 过 程
弹性变形	加热	溶解/分解
塑性变形	冷却	燃烧
脆性断裂破坏	熔化	硬化
韧性破坏	固化	沉积
塑性流动	气化	相变
混合	凝结等	扩散等
分离		
浇灌		
运送等		