

现代制造工程学

〔丹麦〕辽·阿尔亨 著 〔美〕乔·布斯罗德 英译

马自天 刘玉文 译

国防工业出版社

现代制造工程学

〔丹麦〕 辽·阿尔亭 著

〔美〕 乔·布斯罗德 英译

马自天 刘玉文 译

国防工业出版社

内 容 简 介

本书总结了现代制造工程的最新成就,提出了新体系、新概念,采用新的“形态学”模式。抓住制造工程中三个因素,即材料、能量、信息在制造过程中的变化;对各种工艺方法的综合分析及横向比较;重视产品的工艺性和经济效果;使读者对具体产品的加工方法的选择能迅速作出可行性和局限性的评价。为工艺参数的典型化、系统化打下基础,从而为计算机技术在产品设计和制造中的应用开辟了新的途径。

本书可供机械制造专业的工程技术人员和有关高等院校师生参考。

MANUFACTURING ENGINEERING
PROCESSES
MARCEL DEKKER, INC. 1982

现代制造工程学

【丹麦】 江·阿尔亭 著

【美】 乔·布斯罗德 英译

马自天 刘玉文 译

责任编辑 余发雄

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印张11¹/₂ 298千字

1988年9月第一版 1988年9月第一次印刷 印数: 0, 001— 3, 180册

ISBN 7-118-00057-4/TG4 定价: 6.80元

译 者 的 话

现代制造工程发展很快，各种新材料的发现，新工艺方法的产生，计算机辅助设计及制造的应用等等，使得制造工艺的实践日新月异；旧的制造工程体系已不能满足要求。所以总结现代制造工程的最新成就，探索现代化的新体系、新概念，具有重大意义。本书作者以独特的新观点，在建立现代制造工程新体系上做出了创造性的贡献。

本书的主要特点是：突破了局限在金属材料范围内孤立地论述各种加工方法的旧体系，采用新的“形态学”模式，抓住了各种材料（金属或非金属）在制造工程中三个因素，即材料、能量、信息在运动（流动）中的变化与作用；加强对各种工艺方法的综合分析及横向比较；重视产品的工艺性和经济效果；使读者对具体产品加工方法的选择能迅速作出可行性和局限性的评价；为工艺参数的典型化、系统化打下基础，从而为计算机技术在产品的设计和制造中的应用开辟新的道路。

原著出版后受到了国际上的高度评价。美国麻省理工学院乔·布斯罗德博士于1982年译成英文版本出版，进一步引起各国学者的重视。我们积极从事本书的翻译工作，相信本书出版后，对我国四化建设、对我国制造工程的发展都会起到积极的促进作用。

由于我们水平有限，难免有不少缺点和错误，请批评指正。

译 者

前 言

在这本书里，制造工艺学是通过工艺过程的分类来描述的。这将有助于读者了解在什么场合中一个特定的工艺过程适用于总体的制造方案；以及什么工艺过程能适用于一个特定零件的加工制造。

对于那些还不熟悉各类工艺过程的读者，本书就课题内容提供了详尽的阐述，同时又就制造工艺学入门知识提供了充分的分析资料。本书采用图表形式来阐明各种制造工艺过程的要点，这是本书引人入胜的一大特点。

现在，有许多试图介绍制造工艺过程入门知识的书：其中一部份只不过是若干独立章节拼凑起来的合订本而已，它们缺乏一个共同的主题或根本的分析结构来贯穿；大部份的书仅仅是对制造工艺过程进行了泛泛地描述，使人感到索然无味。即或有一两本书有些分析和推论，又显得过份理论化。还有些书只着眼于机械过程或工艺过程的机械形式，如机械加工，金属成形等等，而忽视了制造过程中的冶金或化学过程，如焊接、铸造和粉末冶金。以上这些缺点在本书中是找不到的。

在美国，制造工艺学长期以来被看作是一种枯燥无味的教条而受到轻视，如今我们总算有了一本可以帮助纠正这种严重状况的好书了。

乔·布斯洛德

序 言

在任何工业社会里，制造工艺学都是一门重要的学科。然而，多年来制造学在工程领域中没有占有重要的地位，以满足工业和社会的需要。

造成这种现象的部份原因是没有把工艺方法和科技成果充分介绍到制造领域中来。这一领域大都被看成是技术员和工人的活动范围。在工学院和大学里，通常还是用老一套的描述方法来讲解这门课。这无论对于学生或从事实际工作的工程师都没有鞭策力。

近二十年来技术的飞速发展，例如计算机技术及其在设计中的应用（计算机辅助设计），以及在制造工艺中的应用（计算机辅助制造），都强调了针对实际问题对工艺进行深入、系统探讨的必要性。

本书为深入、系统地发展制造工艺学的研究方法阐明了重要的基本步骤，并通过以下主要方面来完成这一使命：

本书给予了制造领域以系统而互相连贯的描绘。

本书能迅速对工艺过程作出可行性和局限性的评价，以便对特定零件选择适合的工艺方法进行生产。

最后，本书的阐述是以科学的和系统的方法为基础。这种方法可以激发人们的想象力，并且综合地利用了一般工艺技术的基础知识。

为达到技术领先的目的，从一个崭新的观点来思考制造工艺是非常必要的。按照惯例，特定的工艺过程要个别对待，每一类都要求一个特别的阐述。当分析不同的工艺过程时，便显示出它们都可以用建立在少数几个基本参素上的普遍工艺过程模式加以描述。把这些参素结合起来考虑，便能对工艺过程的综合分析给

出了一种“形态学模式”。这种模式在第一章中进行了阐述。从第五章到第十一章中，按照第一章论述的形态学模式在特定的工艺过程范围内加以描述。必须注意，在第十章铸造部份及第十一章塑料工艺部份没有按照新的形态学模式加以充分描述。这是留给读者自己去做的事，鼓励他们当作一个有价值的练习去完成。

为了使读者了解这些工艺过程所必需的基础知识，第二章介绍了材料的性能，第三章介绍了工程材料，第四章介绍了金属加工的基本理论（可塑性原理）。

为了提醒读者注意制造工艺过程的应用并非单纯地依赖于技术的或经济的观点，在第十二章介绍了工业安全的课题。

本书曾在丹麦工业大学作为教科书使用达七年之久，教学效果非常令人鼓舞。课程的持续时间是一学期，约在课内讲授四十二学时，课外占用八十学时。随着课程的进展，布置过一些习题，有些习题在课堂上通过专门习题课进行了讨论。如果安排车间实习和授课平行进行，便极大地提高了教学效果。

纪·玻斯洛德博士为编辑本书作出了有价值的注释并提出了改进的建议。布立罕扬大学德尔·克·阿宁教授也曾读过原稿，并使我作了几处改进。为此我谨向他们表示衷心感谢。

辽·阿尔亭

目 录

第一章 工艺过程的形态学模式	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 制造过程的基本结构	1
1.2.1 一般工艺过程的模式	1
1.2.2 工艺过程的形态学结构	4
§ 1.3 材料流系统	5
1.3.1 材料状态	7
1.3.2 基本工艺过程	7
1.3.3 流的类型(工艺过程类型)	10
§ 1.4 制造过程的实例	11
1.4.1 锻造	11
1.4.2 滚轧	11
1.4.3 粉末压制	11
1.4.4 铸造	13
1.4.5 车削	13
1.4.6 电火花加工	15
1.4.7 电解加工	15
1.4.8 火焰切割	16
§ 1.5 能量流系统	16
1.5.1 基本过程为机械过程的能量流	16
1.5.2 基本过程为热过程的能量流	23
1.5.3 基本过程为化学过程的能量流	31
1.5.4 转换介质	31
§ 1.6 信息流系统	32
1.6.1 质量恒定过程的信息流($dM = 0$)	35
1.6.2 质量减少过程的信息流($dM < 0$)	41
1.6.3 装配和连接过程的信息转换	44
§ 1.7 小结	46
第二章 工程材料的性能	47
§ 2.1 引言	47
§ 2.2 材料性能	47

§ 2.3 材料的机械性能	48
2.3.1 拉伸试验 (应力-应变图)	48
2.3.2 硬度试验	55
2.3.3 动力试验	59
2.3.4 蠕变试验	60
第三章 工程材料	62
§ 3.1 引言	62
§ 3.2 制造过程中材料的重要性能	62
3.2.1 液态材料的成形	62
3.2.2 固态材料的成形	64
3.2.3 颗粒状材料的成形	67
§ 3.3 加工过程对材料性能的影响	67
§ 3.4 材料的分类	68
§ 3.5 金属材料	69
3.5.1 键及组织	69
3.5.2 提高强度的机理	70
§ 3.6 黑色金属	75
3.6.1 成份及用作合金成份的可能性	75
3.6.2 按用途对钢的分类	77
3.6.3 铸铁	79
§ 3.7 有色金属	80
3.7.1 铜及铜合金	81
3.7.2 铝及铝合金	81
3.7.3 镁及镁合金	82
3.7.4 锌及锌合金	82
§ 3.8 塑料 (高分子聚合物)	83
3.8.1 热塑性塑料和热固性塑料	83
3.8.2 塑料的设计	84
3.8.3 一般使用性能	85
§ 3.9 陶瓷及玻璃	86
§ 3.10 复合材料	87
3.10.1 弥散强化材料	87
3.10.2 粒子强化材料	88
3.10.3 纤维增强材料	88
第四章 金属加工的基本理论	89
§ 4.1 引言	89
§ 4.2 二维和三维应力系统	89
§ 4.3 真实应力——自然应变曲线及不稳定性	96

4.3.1 真实应力和自然应变	96
4.3.2 体积恒定性	99
4.3.3 不稳定性	101
4.3.4 应力-应变曲线分析	102
§ 4.4 屈服准则	106
4.4.1 特雷斯卡屈服准则	106
4.4.2 冯米西斯屈服准则	107
§ 4.5 有效应力和有效应变	111
§ 4.6 变形功	113
第五章 制造过程的分类	116
§ 5.1 引言	116
§ 5.2 工艺过程的分类	118
第六章 固体材料: 质量恒定过程	121
§ 6.1 引言	121
§ 6.2 质量恒定过程的特征	123
6.2.1 几何形状的可能性	123
6.2.2 工艺过程的条件	127
6.2.3 重要的材料性质	132
§ 6.3 质量恒定过程典型实例	132
§ 6.4 力和能量的确定	146
6.4.1 确定力和能量的基本原理	147
6.4.2 薄板的滚轧: 滚轧力, 力矩和功率的确定	149
6.4.3 挤压: 挤压压力或力的确定	151
6.4.4 线材拉伸: 确定拉伸力及一次拉伸的面积最大减少量	153
6.4.5 爆炸成形: 所需的炸药装填量的确定	155
§ 6.5 小结	158
第七章 固体材料: 质量减少过程	159
§ 7.1 引言	159
§ 7.2 质量减少过程的特点	159
7.2.1 基本原理	159
7.2.2 基本定义	162
7.2.3 切屑的形成	170
7.2.4 切削过程的条件	175
§ 7.3 几何形体的可行性	191
7.3.1 单刃切削刀具	193
7.3.2 多刃刀具	199
7.3.3 多刀, 刀刃无规则几何形状的刀具	204

§ 7.4	典型质量减少过程的实例	206
§ 7.5	切削力和切削功的确定	214
7.5.1	一般预备知识(工作方法)	215
7.5.2	车削的切削力和切削功	217
7.5.3	牛头刨和龙门刨的切削力和功率	219
7.5.4	钻削时的力矩和功率	220
7.5.5	铣削之功率消耗	222
第八章	固体材料: 连接过程	224
§ 8.1	引言	224
§ 8.2	连接过程的特性	226
§ 8.3	熔焊	228
8.3.1	以电能产生电弧为基础的熔焊——电弧焊	228
8.3.2	电子束焊或激光束焊(以电能为基础的熔化焊)	234
8.3.3	以化学能为基础的熔焊——气焊	235
8.3.4	熔焊的焊口	235
§ 8.4	压力焊	237
8.4.1	冷焊	237
8.4.2	电阻焊	237
8.4.3	其它压力焊接过程	240
§ 8.5	以 $T_f < T_w$ 类填充材料为基础的连接过程——铜焊, 锡焊和 胶接	242
8.5.1	铜焊和钢焊	243
8.5.2	粘接连接	246
§ 8.6	连接方法的评定	248
第九章	颗粒材料: 粉末冶金	250
§ 9.1	引言	250
§ 9.2	粉末冶金过程之特性	251
9.2.1	金属粉末	251
9.2.2	粉末制备	253
9.2.3	粉末的加压或压实	254
9.2.4	烧结	260
9.2.5	烧结后处理(精加工)	262
§ 9.3	性能及应用	263
9.3.1	性能	263
9.3.2	应用	266
第十章	液体材料: 铸造过程	269
§ 10.1	引言	269

§ 10.2 铸造过程的特点	271
§ 10.3 熔化 (成份控制)	272
10.3.1 熔化的化学过程 (冶金学)	272
10.3.2 熔化温度	273
10.3.3 熔化能力与生产率	274
10.3.4 熔化过程/熔炉	274
§ 10.4 铸模生产, 浇注及冷凝	278
10.4.1 铸模生产	278
10.4.2 模型	281
10.4.3 浇注	285
10.4.4 冷凝	288
§ 10.5 铸造过程	289
10.5.1 砂型铸造	289
10.5.2 壳模铸造	292
10.5.3 熔模铸造	292
10.5.4 压力铸造	294
10.5.5 低压铸造	296
10.5.6 重力或永久模铸造	297
10.5.7 离心铸造	297
§ 10.6 几何形状的可能性	298
10.6.1 引言	298
10.6.2 一般设计规则	298
第十一章 塑料及塑料工艺过程	303
§ 11.1 引言	303
§ 11.2 塑料的制造工艺过程	303
11.2.1 热塑性塑料	303
11.2.2 热固性塑料	305
§ 11.3 塑料加工工艺方法	306
11.3.1 铸造	307
11.3.2 旋转模制造法	307
11.3.3 增强塑料和层压塑料	308
11.3.4 挤压	311
11.3.5 吹塑成形	311
11.3.6 塑料注射成形法	312
11.3.7 压制成型和转换模成型法	314
11.3.8 加热成形	315
11.3.9 塑料的连接	316
第十二章 工业安全须知	317

§ 12.1	引言	317
§ 12.2	工业安全	317
§ 12.3	工业危害分析	318
§ 12.4	政府法律及法规	319
附录一	参考文献目录	320
附录二	习题	323
附录三	部分习题答案	340
附录四	计量单位换算	342
附录五	索引	347

第一章 工艺过程的形态学模式

§1.1 引言

在工业生产中,大量地采用了不同的工艺过程或制造方法。为了从技术和经济方面对给定的产品选择最佳制造程序,必须对各种制造过程的可能性和局限性具备广泛的、基本的知识,其中包括工件材料的选用以及对几何形状、表面光洁度和公差的要求。

在第一章中,我们将不详尽地考虑个别的制造过程,但是将介绍以所有工艺过程为基础的普遍结构的相关图表。在确定和考虑结构中的要素时,必须对材料加工过程获得全面而系统的了解。这种了解是建立在一般工艺的基础之上的,并且由此可以对不同工艺过程的可能性及局限性得到评价。这种方法具有广泛性和通用性,但在本书中仅讨论到制造工业的工艺过程特点。

§1.2 制造过程的基本结构

工艺过程这一术语通常可定义为加工对象性能的变化,包括几何形状、硬度、状态、信息量(以数据的形式)等等。欲产生任何性能的变化必需具备三个基本要素:(1)原材料,(2)能源,(3)信息。根据制造过程的主要任务,它或者是一个材料变化的过程,或者是一个能量变化的过程,或者是一个信息变化的过程。在以下章节中,将讨论材料变化过程,特别是几何性能的变化或材料性能的变化,或是二者兼而有之^[1]。然而,这并不意味着对应用一般原理的一种限制。

1.2.1 一般工艺过程的模式

一般工艺过程之模式可用图 1.1 来说明。这种模式表明一个

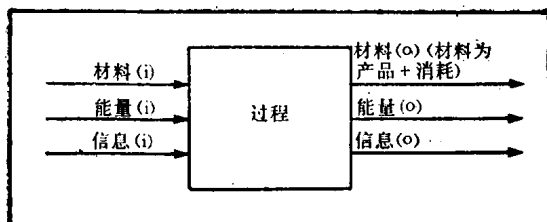


图1.1 一般工艺过程模式。此处 i 表示输入， o 表示输出。

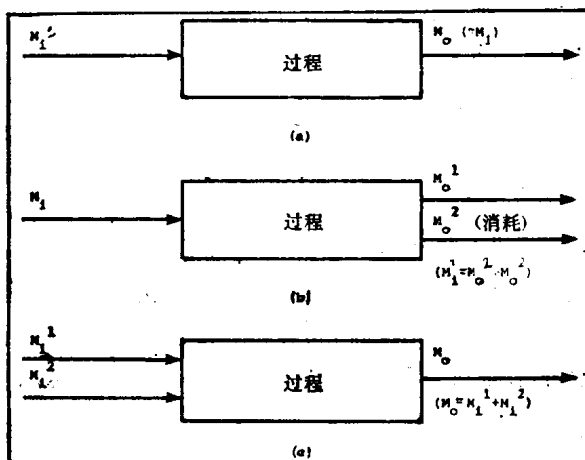


图1.2 材料流的三种主要类型。

- (a) 质量恒定过程 ($dM = 0$)；(b) 质量减少过程 ($dM < 0$)；
 (c) 装配或质量增加过程。 ($dM > 0$) 这里 M 表示材料的质量，
 i 表示输入， o 表示输出。数字 1、2 系材料组成部分的编号。

材料加工过程可用下列几个相互有关的“流变系统”来描述。

材料流可分为三种主要类型，如图 1.2 所示。

1. 直通流，相当于质量恒定过程。
2. 分散流，相当于质量减少过程。
3. 汇合流，相当于装配或连接过程。

质量恒定过程 ($dM = 0$) 的特点如下：

工件的初始质量等于（或接近等于）工件最终质量。就是说，

当几何形状变化时,也仅仅是材料被加工产生了形状的变化而已。

质量减少过程($dM < 0$)的特点如下:

工件最终几何形状被限制在工件初始几何形状之内,这意味着要靠切除材料来获得形状的改变。

装配或连接过程(有时表现为 $dM > 0$)的特点如下:

最终几何形状是靠元件相装配或相连接而获得。因此,具有最终几何形状的工件质量接近于或等于各元件质量之总和。而这些元件是用上述一种或两种兼而有之的方法制造出来的。

材料流的三种类型都与工件材料有关,根据工艺过程的要求,还需要有材料的辅助流,如润滑、冷却液,以及填料。应当指出,大多数只改变材料性能而不改变几何形状的工艺过程是质量恒定过程。

参与工艺过程的能量流,其特征可看作是能量的供给,能量向工件传递,以及能量的转移或能量的丧失。

信息流包括涉及到形状和信息的信息。某一材料的某种几何形状可被描述为材料形状的信息。在几何形状改变的过程中,改变形状的信息便作用在材料上。因此最终外形的信息等于初始外形信息及加工过程中施加于外形变化的信息的总和。改变外形的信息产生于刀具或模具的某种外形轮廓以及工件材料与刀具或模具之间相对运动型式。这就是说,几何形状变化过程可通过能量流使改变形状的信息流作用在材料流上以表现其特征。

使材料产生几何形状变化,可用一步或几步来实现,即

$$I_0 = I_i + \Delta I_{P1} + \Delta I_{P2} + \cdots + \Delta I_{Pn} \quad (1.1)$$

这里 I_0 是希望达到的几何形状, I_i 为材料的初始形状信息。 I_{Pn} 为各个过程的形状信息。所需过程的数量一部分取决于技术方面,一部分取决于经济方面的考虑。

与此相似,性能的信息流(如硬度、强度等等)是原始材料性能和各式各样工艺过程中产生之性能变化的总和。

三种流系统之间适当的相互作用,产生出所需要的零件。

流动系统之间的相互作用是由控制信息来操纵的。而控制信息包括力学、动力、摩擦与润滑，切削数据等知识。这些控制信息一部分由分析得来，一部分来自实验。关于控制信息，我们以后再讨论。

根据上述三种流系统，绘出制造工艺过程的完整模式图如图 1.3 所示。从这个意义上讲，对制造过程中有关的各种材料流、能量流以及形状和信息流都要考虑。

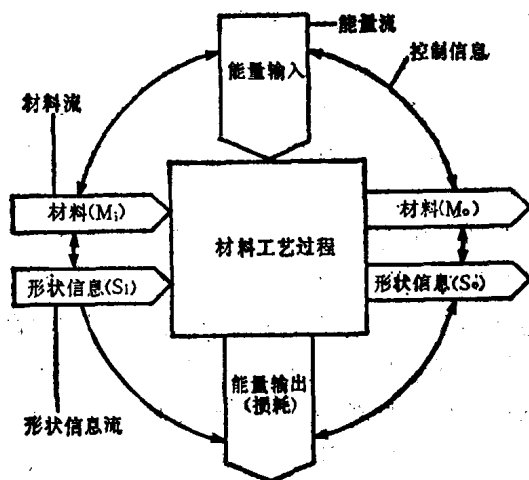


图1.3 材料的工艺过程模式

1.2.2 工艺过程的形态学结构

当分析制造工艺过程时，发现制造工艺过程可用一般的形态学模式来描述，而这种模式是从与三种流系统中有关的几个基本要素建立起来的。将这些要素组合起来，就可得到工艺过程的形态学模式，并由此推导出全部制造工艺过程。

形态学模式的基本要素为：

材料流

基本过程