



教育部高等学校

材料科学与工程教学指导委员会规划教材

● 丛书主编 黄伯云

材料成形基础

主 编	关绍康	黄光杰
副主编	张富巨	
	孙玉福	
主 审	介万奇	

Fundamentals of Materials Forming



中南大学出版社

www.csupress.com.cn



教育部高等学校
材料科学与工程教学指导委员会规划教材

从书主编 黄伯云

材料成形基础



主 编	关绍康	黄光杰
副主编	张富巨	
	孙玉福	
主 审	介万奇	

Fundamentals of Materials Forming



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目(CIP)数据

材料成形基础/关绍康主编. —长沙:中南大学出版社,2009. 1
ISBN 978-7-81105-693-8

I. 材... II. 关... III. 工程材料 - 成形 - 高等学校 - 教材
IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 001609 号

材料成形基础

主编 关绍康

☐责任编辑 周兴武

☐责任印制 汤庶平

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 湖南大学印刷厂

☐开 本 787×960 1/16 ☐印张 21.75 ☐字数 472 千字

☐版 次 2009 年 2 月第 1 版 ☐2009 年 2 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-81105-693-8

☐定 价 38.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

总 序



材料是国民经济、社会进步和国家安全的物质基础与先导,材料技术已成为现代工业、国防和高技术发展的共性基础技术,是当前最重要、发展最快的科学技术领域之一。发展材料技术将促进包括新材料产业在内的我国高新技术产业的形成和发展,同时又将带动传统产业和支柱产业的改造和产品的升级换代。“十五”期间,我国材料领域在光电子材料、特种功能材料和高性能结构材料等方面取得了较大的突破,在一些重点方向迈入了国际先进行列。依据国家“十一五”规划,材料领域将立足国家重大需求,自主创新、提高核心竞争力、增强材料领域持续创新能力将成为战略重心。纳米材料与器件、信息功能材料与器件、高新能源转换与储能材料、生物医用与仿生材料、环境友好材料、重大工程及装备用关键材料、基础材料高性能化与绿色制备技术、材料设计与先进制备技术将成为材料领域研究与发展的主导方向。不难看出,这些主导方向体现了材料学科一个重要发展趋势,即材料学科正在由单纯的材料科学与工程向与众多高新科学技术领域交叉融合的方向发展。材料领域科学技术的快速进步,对担负材料科学与工程高等教育和科学研究双重任务的高等学校提出了严峻的挑战,为迎接这一挑战,高等学校不但要担负起材料科学与工程前沿领域的科学研究、知识创新任务,而且要担负起培养能适应材料科学与工程领域高速发展需求的、具有新知识结构创新型高素质人才的重任。

为适应材料领域高等教育的新形势,2006—2010年教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会积极组织了材料类高等学校教材的建设规划工作,成立了规划教材编审委员会,编审委员会由相关学科的分教学指导委员会主任委员、委员以及全国30余所影响力和代表性的高校材料学院院长组成。编审委员会分别于2006年10月和2007年5月在湖南张家界和中南大学召开了教材建设研讨会和教材提纲审定会。经教学指导委员会和编审委员会推荐和遴选,逾百名来自全国几十所高校的具有丰富教学与科研经验的专家、学者参加了这套教材的编

写工作。历经几年的努力，这套教材终于与读者见面了，它凝结了全体编写者与组织者的心血，充分体现了广大编写者对教育部“质量工程”精神的深刻体会，对当代材料领域知识结构的牢固掌握和对高等教育规律的熟练掌握，是我国材料领域高等教育工作者集体智慧的结晶。

这套教材基本涵盖了金属材料工程专业的主要课程，同时还包含了材料物理专业和材料化学专业部分专业基础课程，以及金属、无机非金属和高分子三大类材料学科的实验课程。整体看来，这套教材具有如下特色：①根据教育部高等学校教学指导委员会相关课程的“教学大纲”及“基本要求”编写；②统一规划，结构严谨，整套教材具有完整性、系统性，基础课与专业课之间的内容有机衔接；③注重基础，强调实践，体现了科学性、实用性；④编委会及作者由材料领域的院士、知名教授及专家组成，确保了教材的高质量及权威性；⑤注重创新，反映了材料科学领域的新知识、新技术、新工艺、新方法；⑥深入浅出，说理透彻，便于老师教学及学生自学。

教材的生命力在于质量，而提高质量是永恒的主题。希望教材的编审委员会及出版社能做到与时俱进，根据高等教育改革和发展的形势及材料专业技术发展的趋势，不断对教材进行修订、改进、完善，精益求精，使之更好地适应高等教育人才培养的需要，也希望他们能够一如既往地依靠业内专家，与科研、教学、产业第一线人员紧密结合，加强合作，不断开拓，出版更多的精品教材，为高等教育提供优质的教学资源和服务。

衷心希望这套教材能在我国材料高等教育中充分发挥它的作用，也期待着在这套教材的哺育下，新一代材料学子能茁壮成长，脱颖而出。

董伯云

前 言

《材料成形基础》是2006—2010年教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会规划教材之一，它是“材料成形及控制工程”和“材料科学与工程(金属材料与工程方向)”两个专业的重要理论基础课，起到技术基础课和专业课之间的“桥梁”作用。

随着社会的发展和科学技术的进步，社会对材料类人才的需求已从原来需要较单一的技术人才转变为能适应不同生产力水平、不同产业部门的多层次、多规格的创新型复合人才，要求毕业生基础知识扎实，具有较高的综合解决实际问题的能力，能够胜任不同的岗位。这些转变对高等教育人才培养模式、办学观念、管理体制等带来了巨大冲击，给材料类人才培养提出了更高的要求。本教材从“材料成形及控制工程”和“材料科学与工程(金属材料与工程方向)”专业需求出发，根据2006—2010年教育部高等学校材料科学与工程专业教学指导委员会的要求，本着培养宽口径、厚基础、高素质、知识结构合理并更具适应性和可发展性的高等工程技术人员的目标而编写的。

本教材的主要任务是揭示材料的液态成形、连接成形、塑性成形等近代材料成形技术中的内在规律与物理化学及冶金学本质，因此编写内容以金属材料为主，兼顾无机非金属材料 and 聚合物材料。既涵盖了液态形成基础、连接成形基础和塑性成形基础的主要内容，又对无机非金属成形和聚合物材料成型部分的基本原理进行了简单介绍，以适合宽专业，增强学生适应能力的要求。在《材料成形基础》的编写过程中充分考虑整个课程体系的衔接问题，将液态成形、连接成形、塑性成形、无机非金属材料成形和聚合物成型等近代材料成形技术中共性的部分进行凝练，对个性部分作了有选择性的论述，并适当介绍了比较成熟的相关新理论，减少了与《材料科学基础》课程的重复内容。力图突出以工业化生产为专业背景的特点，紧密结合实际，阐述材料成形过程中材料的组成、结构与性能的内在关系，强化在材料成形过程中通过控制和改善材料组织与性能获得健全优质产品的方法和途径。通过本课程的学习，学生能对材料成形过程及其基本知识有深入系统的理解，为开发材料成形新技术、研制新材料及提高产品质量奠定坚实的理论基础。

全书共分七章，主要内容包括：绪论，液态金属成形物理冶金基础，液态成形化学冶金基础，液态成形过程中的质量控制，金属塑性成形基础，无机非金属材料成形基础，聚合物成型基础。

本书每章配有一定数量的练习题和思考题，书末附有大量的参考文献和相关的网络链接。

本书由郑州大学关绍康教授任主编；武汉大学张富巨教授、重庆大学黄光杰教授和郑州大学孙玉福教授任副主编；参与本书编写人员主要有：郑州大学的关绍康教授、孙玉福教授、刘胜新教授、张锐教授、李新法教授、赵红亮教授、汤文博副教授、王利国副教授，武汉大学的张富巨教授、张国栋副教授、张建强副教授，重庆大学的黄光杰教授，福建工程学院的王乾廷博士。全书由刘胜新教授统稿。

西北工业大学介万奇教授对全书内容进行了审核校正，并提出了建设性修改意见。中南大学张新明教授对本书的编写提出了宝贵意见，谨此一并表示衷心的感谢！

本教材可供高等学校材料成形与控制工程、材料科学与工程专业(金属材料与工程方向)本科生使用，也可供相关专业的工程技术人员作为参考。

由于作者水平有限，书中难免有诸多不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2009年1月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 材料成形基础理论概述	(1)
1.1.1 材料成形的内涵及其成形方法分类	(1)
1.1.2 材料成形的地位和作用	(3)
1.1.3 材料成形理论基础及其对材料成形技术的指导意义	(6)
1.2 材料成形基础理论的发展	(6)
1.2.1 液态成形凝固理论的发展	(6)
1.2.2 成形过程化学冶金理论的进展	(9)
1.2.3 金属塑性成形理论的发展概况	(10)
1.3 本课程的定位和任务	(11)
1.4 本课程与其他课程的分工	(11)
第2章 液态金属成形物理冶金基础	(12)
2.1 液态金属的结构与性质	(12)
2.1.1 液态金属的结构	(12)
2.1.2 液态金属的性质	(17)
2.1.3 液态金属的遗传性	(26)
2.2 液态金属成形过程中的温度场	(30)
2.2.1 温度场基本概念	(30)
2.2.2 液态金属成形基本方程及求解方法	(31)
2.2.3 液态金属成形中的温度场	(33)
2.3 液态金属的流动性与半固态金属的流变性	(42)
2.3.1 液态金属在凝固过程中的流动	(42)
2.3.2 液态金属停止流动机理	(44)
2.3.3 液态金属的流动性与充型能力	(45)
2.3.4 半固态金属的流变行为及其成形	(50)
2.4 液态金属的凝固	(55)
2.4.1 晶体形核与生长	(55)

2.4.2	溶质再分配	(64)
2.4.3	合金凝固界面前沿的成分过冷	(70)
2.4.4	合金的凝固方式	(79)
2.4.5	共晶凝固	(81)
2.4.6	金属基复合材料的凝固	(90)
2.4.7	焊接熔池的凝固	(96)
2.4.8	凝固组织细化	(100)
2.5	超常条件下液态成形基础	(107)
2.5.1	定向凝固	(108)
2.5.2	快速凝固	(112)
2.5.3	快速金属零件复合精密液态成形	(116)
2.5.4	非重力场中的凝固	(119)
	习题与思考	(121)

第3章 液态成形化学冶金基础

3.1	概述	(125)
3.1.1	铸造条件下的化学冶金	(125)
3.1.2	焊接条件下的化学冶金	(127)
3.2	液态金属与气体的相互作用	(130)
3.2.1	气体的来源	(130)
3.2.2	氢对液态金属的作用	(133)
3.2.3	氧对液态金属的作用	(140)
3.2.4	氮对液态金属的作用	(145)
3.3	液态金属与熔渣的相互作用	(148)
3.3.1	熔渣作用、来源及分类	(149)
3.3.2	熔渣的结构	(152)
3.3.3	熔渣的物理化学性质	(155)
3.3.4	活性熔渣对金属的作用	(160)
3.3.5	冶金脱氧	(163)
3.3.6	金属中的硫磷及其控制	(170)
3.4	液态成形中的合金化	(175)
3.4.1	合金化的目的和方式	(175)
3.4.2	合金化过程	(177)
3.4.3	合金化效果及其影响因素	(179)

习题与思考	(183)
第4章 液态成形过程中的质量控制	(184)
4.1 缩孔与缩松	(184)
4.1.1 金属收缩的基本概念	(184)
4.1.2 缩孔与缩松的分类及特征	(185)
4.1.3 缩孔与缩松的形成机理	(186)
4.1.4 影响缩孔与缩松的因素及防止措施	(187)
4.2 气孔与夹杂物	(190)
4.2.1 气孔	(190)
4.2.2 夹杂物	(194)
4.3 应力、变形及裂纹	(197)
4.3.1 应力	(197)
4.3.2 变形	(199)
4.3.3 裂纹	(203)
4.4 化学成分不均匀性	(214)
4.4.1 偏析种类	(214)
4.4.2 宏观偏析	(214)
4.4.3 微观偏析	(216)
4.4.4 焊缝中的化学成分不均匀性	(218)
4.5 焊接热影响区组织及质量控制	(220)
4.5.1 焊接热影响区的组织转变特点	(220)
4.5.2 焊接热影响区质量控制	(221)
习题与思考	(223)
第5章 金属塑性成形基础	(224)
5.1 金属塑性变形物理本质	(224)
5.1.1 合金的塑性变形	(224)
5.1.2 金属的塑性和变形抗力	(235)
5.1.3 金属的超塑性	(248)
5.2 金属塑性变形和流动性	(255)
5.2.1 最小阻力定律	(255)
5.2.2 影响金属塑性变形和流动性的因素	(256)
5.3 塑性成形过程中的组织与性能变化	(258)

5.3.1	冷塑性成形对金属组织与性能的影响	(258)
5.3.2	冷塑性变形后金属在加热时的组织与性能变化	(262)
5.3.3	热塑性变形对金属组织与性能的影响	(269)
5.4	金属塑性成形力学	(273)
5.4.1	金属塑性成形问题的求解方法概述	(273)
5.4.2	主应力法及其求解特点	(274)
5.4.3	滑移线理论	(276)
5.4.4	塑性极限原理和上限法	(291)
	习题与思考	(300)
第6章	无机非金属材料成形基础	(301)
6.1	概述	(301)
6.1.1	无机非金属材料的组成及结构特点	(301)
6.1.2	无机非金属材料的分类及成形方法	(301)
6.2	无机非金属材料成形基础	(302)
6.2.1	固态成形基础	(302)
6.2.2	液态成形基础	(309)
	习题与思考	(311)
第7章	聚合物成型基础	(312)
7.1	概述	(312)
7.1.1	聚合物材料的组成及结构特点	(312)
7.1.2	聚合物材料的分类及成型方法	(314)
7.2	聚合物材料成型基础	(315)
7.2.1	聚合物的流变性能	(315)
7.2.2	聚合物成型过程中的物理和化学变化	(326)
7.2.3	成型加工过程中聚合物的传热性能	(329)
	习题与思考	(330)
	参考文献	(331)

第1章 绪论

1.1 材料成形基础理论概述

1.1.1 材料成形的内涵及其成形方法分类

一、材料成形的内涵

材料是人类文明的物质基础，是社会进步和高新技术发展的先导。目前，材料与能源、信息和生物技术共同构成了现代科学技术和社会发展的四大支柱，但是材料要获得使用和发展必须满足两个基本条件，首先是材料必须具有能够满足特定应用场合所要求的使用性能，其次是要有经济有效的成形方法将其成形为具有特定形状和性能的制品。

迄今为止，尚没有一个关于材料成形的确切、权威的定义，而且目前所出版的相关书籍中“材料成形(materials forming)”和“材料成型(materials moulding)”混用现象普遍，同时也存在“材料成形”与“材料加工(materials processing)”混用的现象。

从广义上讲，利用各种方式和手段将材料制造成为人类社会所需要的各种零件和产品的过程称为材料加工。材料加工的方法有很多种，归纳起来可分为：成形加工、切除加工、表面加工、热处理加工等，其中成形加工的目的不仅要赋予材料一定的形状、尺寸和表面状态，而且决定材料变成成品后的组织和性能。材料成形加工的工艺过程，称为材料成形。所谓“材料成形”，实际上有两种含义：一是成形(forming)，它是指固态金属或非金属(即毛坯)在外界压力的作用下，借助于模具的约束通过材料的塑性变形来获得一定的形状、尺寸和性能的制品；二是成型(moulding)，它是指液态或半固态的原材料(金属或非金属)在外界压力(或自身重力)作用下，通过流动充填模型(或模具)的型腔来获得与型腔的形状和尺寸一致的制品。实际上“材料成形”的内涵比“材料成型”更宽，而且两者都是借助于外界的压力作用通过模具来实现生产的。在本书的叙述中除了“聚合物材料成型基础”部分用“成型”外，其他内容均用“成形”。

在材料成形过程中通常会同时发生形状、结构和性能的变化，其中形状的变化是首要和最基本的变化。为了发生这种变化，材料成形过程必须具备3个基本要素，即材料、能量和信息。因此，材料成形过程的一般模式可用图1-1进行描述。由图

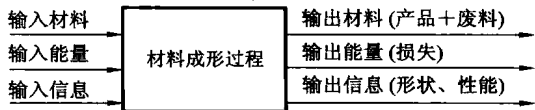


图 1-1 材料成形过程的一般模式

1

1-1 可知：材料成形是一个材料、能量和信息不断变化的过程。

材料成形一般包括传统的铸造、锻压、焊接、粉末冶金成形等。随着科学技术的发展以及新材料、新工艺的不断涌现，材料成形的内涵和外延有了很大的拓宽，材料成形向精密、柔性、复合、无废弃物、高效、清洁、优质方向发展。

二、材料成形方法的分类

材料成形方法的分类主要有下述两种分类方法：①根据化学组成和显微结构特点分类；②根据材料被加工成形时所处的状态分类。

(1) 根据化学组成和显微结构特点分类

根据化学组成和显微结构特点，材料的成形方法可分类为如下几种。

(a) 金属材料成形

它包括铸造成形、塑性成形(锻压、冲压、轧制等)和焊接成形。热处理是一种相变，以改变材料的组织性能为目的，不属于“成形”。金属材料的成形方法分类如图 1-2 所示。

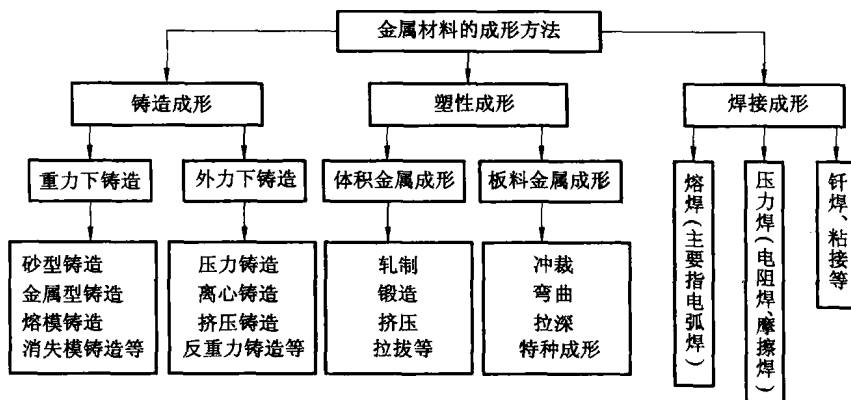


图 1-2 金属材料的成形方法

(b) 无机非金属材料成形

它包括陶瓷成形(塑性滚压成形法、注浆成形法、粉料压力成形法和特种成形法 4 种)、玻璃成形(吹制法、拉制法、压制法和吹-压制法 4 种)等。

(c) 聚合物材料成型

它包括液态聚合物材料成型(如环氧树脂的浇注成型等)，固态聚合物材料成型(如塑料的注射成型、挤出成型等)。

(d) 复合材料成形

它主要指树脂基复合材料成形(如玻璃纤维增强塑料)等。

(2) 根据材料被加工成形时所处的状态分类

这是金属材料成形中常用的分类方法。根据材料被加工成形时所处的状态，材料的成形

方法可分为液体材料成形(如铸造、焊接)、固体(板、块)材料成形(如轧制和锻压)、半固态成形(如半固态金属铸造或液态模锻成形等)、粉末材料成形(如注射成形、喷射成形、粉末冶金成形等)。

1.1.2 材料成形的地位和作用

一、材料成形在材料科学与工程中的地位和作用

材料科学是研究材料的组织、结构与性能关系的学科。建立在材料科学基础上的现代材料成形技术,已不仅仅是一种技艺,而是包含科学的原理,属于材料工程。图1-3清楚地说明了材料的制备与成形对材料的使用性能(performance)、材料的结构(structure)和性质(property)具有重要影响,这充分体现出材料成形在材料科学与工程中具有重要的地位和作用。

先进的材料制备与成形技术,既对新材料的研究开发与实际应用具有决定性的作用,也可有效地改进和提高传统材料的使用性能,对传统材料的更新改造具有重要作用。关于材料的制备与加工技术的研究和开发,也是目前材料科学技术中最活跃的领域之一。非晶态金属材料与相同成分的晶态材料的性质和结构相差很远,其主要原因是两者的制备与成形工艺完全不同。

二、材料成形在国民经济建设中的地位和作用

材料是人类生存和社会发展的物质基础,但是,几乎所有的材料都要进行成形加工后才能使用。当我们每天晚上喝一杯浓香的袋装牛奶,当我们和朋友们一起开怀畅饮,当我们坐在家中利用网络和远方的朋友进行视频通话的时候,是否会想到是材料成形加工技术的发展使我们的生活越来越方便,越来越舒适。

据统计,在各个国家的企业生产力的构成中,制造技术的作用一般占55%~65%。现代制造业已经不是传统意义上的机械制造业,它是当今高科技的综合利用,是集机械、材料、电子、激光、信息、管理等学科最新成就为一体的一个新技术与新兴工业的综合体。我国机械工业总产值已占全国工业生产总产值的25%,材料成形工业在机械工业中又占有很重要的地位。

汽车、电力、石化、造船、机械、建筑等行业是国民经济的支柱产业,这些行业中的铸件、锻件、钣金件、焊接件、塑料件和橡胶件等产品都必须经过材料成形才能生产出来。据统计,我国已经成为世界铸件生产第一大国。2005年我国铸件总产量达到约1800万t,预计国际市场需求也将保持高速增长态势,目前,全球对中国铸件的年需求量约为4000万t,铸

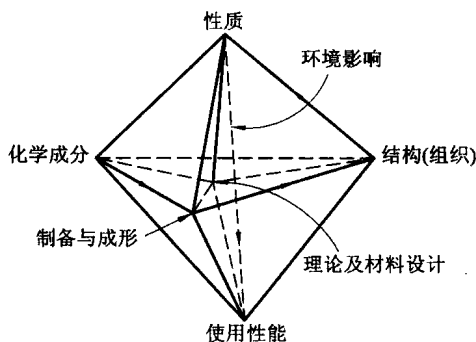


图1-3 材料制备与成形、性能、性质、结构等要素间的相互关系

造模具产值将超过百亿元人民币,2006 年我国钢材产量 46685 万 t,钢铁产量居世界第一位。而统计数据表明,世界约 75% 的钢材需要经过塑性加工,45% 的钢材需要焊接成形。

汽车工业是许多国家的支柱工业。2006 年,中国汽车产量为 728 万辆,比上年增长 27.6%,已超过德国,仅次于美国、日本,居世界第三位。发动机(图 1-4)是汽车的“心脏”,在汽车制造过程中,每辆汽车需要配套的发动机缸体、缸盖、进排气管、轮毂、变速箱体、支架、活塞及活塞环等八大件全部是铸造而成,驱动装置中的关键零部件亦是如此,铸件质量占每辆汽车质量的 15% (轿车)至 20% (卡车)。汽车车身的成形是通过冲压生产来实现的,然后再通过焊接装配成车身。冲压件占整个汽车零部件的 75%,而发动机的曲轴、连杆以及底盘中的零件都是通过锻造来成形的。车门、顶棚采用冲压和焊接联合生产。方向盘、灯罩为注塑件,轮胎为橡胶压制件。

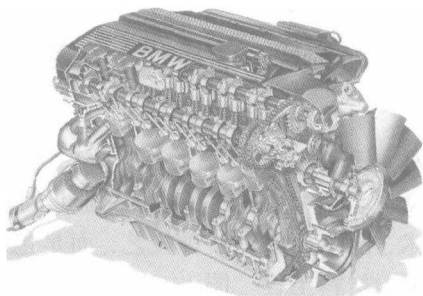


图 1-4 宝马汽车发动机

汽车工业带动其他产业的能力很强,汽车工业的发展推动了冶金、能源、材料、化工、机械、电子等产业的发展,促进公路、城市的建设及金融、保险、贸易、运输、信息等第三产业的繁荣。据统计,德国每 7 个工作岗位中,就有 1 个与汽车业有关。汽车业对促进消费、扩大就业、提高人民生活水平、带动经济发展的作用是显而易见的。

神舟六号载人飞船(图 1-5)和我国首枚探月卫星嫦娥一号(图 1-6)的成功发射,使我们每一个中国人感到由衷的高兴,也许人们要问航空航天技术的发展与材料成形有什么关系呢?

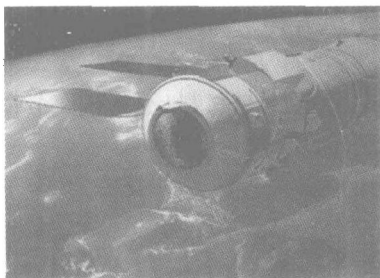


图 1-5 神舟六号载人飞船

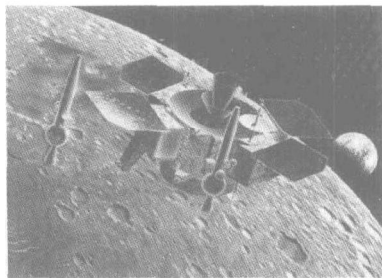


图 1-6 嫦娥一号飞行云迹实拍图

航空航天器中的承力构件多用轻型焊接结构,需要采用真空电子束焊、惯性摩擦焊及真空焊等先进焊接技术。航空发动机是航空航天器的核心部件,其发展水平已成为一个国家科技水平、军事实力和综合国力的重要标志之一。人类航空史上航空动力技术的每一次重大革命性进展,无不与材料成形加工技术的突破和进步相关。

在航空发动机中,涡轮叶片由于处于温度最高、应力最复杂、环境最恶劣的部位而被列为第一关键件,并被誉为“王冠上的明珠”。最初的航空发动机涡轮叶片是采用高温合金通过塑性变形方法制造的。美国从20世纪50代后期开始尝试使用铸造的方法生产高温合金涡轮叶片。前苏联在20世纪60年代中期开始使用铸造涡轮叶片。英国于20世纪70年代初采用了铸造涡轮叶片。随着航空航天事业的不断发展,对航空发动机涡轮叶片的使用温度提出了越来越高的要求,使得变形高温合金和铸造高温合金难以满足其越来越高的温度及性能要求,因而,国内外自20世纪70年代以来纷纷开始研制新型高温合金和开发新的成形技术,先后研制了定向凝固高温合金、单晶高温合金、金属间化合物基高温合金和陶瓷等具有优异高温性能的新型涡轮叶片。中国涡轮叶片用材料也从变形高温合金发展到了单晶高温合金和金属间化合物基高温合金,其使用温度从700℃提高到了1100℃~1150℃。

虽然材料成形技术与国民经济中的各行各业休戚相关,但是,20世纪中后期受“信息经济”、“网络经济”、“知识经济”等意识的强烈冲击,在不少人眼中传统的金属材料成形加工工业被看成了“老气横秋”的“夕阳工业”。但是,美国的经验告诉我们,任何过分强调发展第三产业的重要性,而忽视制造业对国民经济健康发展重要性的做法,都将降低其制造业产品的国际竞争力。日本、德国汽车工业的快速崛起,美国制造业世界霸主地位的丧失和美国汽车在国际市场上竞争力的下降,使美国政府和专家充分认识到制造业的重要性,从而提出了一系列先进制造技术的发展战略,以提高其制造业的技术水平和产品的竞争力。20世纪90年代,包括材料加工、成形新技术等内容的“先进制造技术”被列入美国“国家关键技术计划”。

先进制造技术是一个庞大的技术群,因而在不同发展水平的国家和同一国家的不同阶段,有不同的技术内涵和构成。在我国,先进制造技术的内涵、层次及其技术构成如图1-7所示。由此可以看出新一代的材料成形技术的重要性。

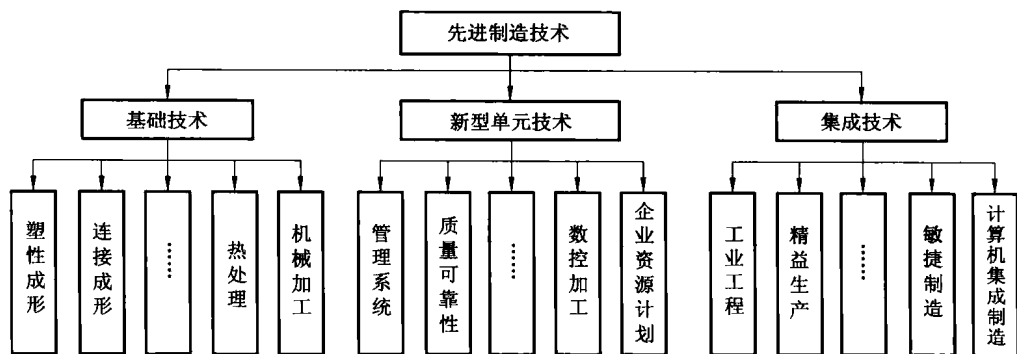


图1-7 我国先进制造技术的层次及其技术构成示意图

的进步是增强国防威慑力和提高人民生活水平的重要保证。以汽车、高速列车为代表的机械制造技术,以大规模集成电路为代表的微电子技术,以载人飞船和航天飞机为代表的航空航天技术,以光纤通信为代表的通信技术、以用于人体医学断层扫描的核磁共振成像系统为典型代表的超导技术等,几乎所有高新技术的发展与进步,都以新材料制备和成形技术的发展与突破为技术支撑。

1.1.3 材料成形理论基础及其对材料成形技术的指导意义

材料成形理论是指金属学、冶金学、材料物理、材料化学、热力学、塑性力学等基础科学在材料成形中的应用而形成的技术原理。不同种类的材料(金属、非金属、复合材料)和材料形状(液态、固态、粉末、半固态)的成形,形成了相应的材料成形理论。如金属学、冶金学、热力学、物理、化学等在指导铸造工艺、焊接工艺设计时形成了金属液态成形理论;塑性力学、金属学和热力学等在金属塑性成形中的应用形成了金属塑性成形理论;材料物理、材料化学、热力学等在无机非金属材料成形中的应用形成无机非金属材料成形理论;材料物理、材料化学、热力学、黏性流体力学等在聚合物材料成型中的应用形成聚合物材料成型理论。

材料成形理论基础是合理选择材料成形方法与设备,进行材料成分设计与成形模具设计,制定成形工艺及控制产品质量的理论依据,也是新材料、新工艺开发的理论指导。

对液态熔体结构及凝固过程中的物理化学变化等规律的认识,不但为铸造工艺及模具设计、焊接方法与设备选择、铸件结构设计与性能分析、焊接接头设计与性能分析奠定了理论基础,而且也快速凝固、半固态成形、连续铸轧、激光快速熔凝成形、喷射成形等成形新技术的开发提供理论指导。另外,计算机和信息技术的飞速发展,冶金、材料、凝聚态物理等学科交融的不断深化,使得凝固理论中的特有规律已经成为金属/非金属间化合物、各类复合材料、人工晶体、纳米、超导、非晶、功能与结构陶瓷等超常规凝固技术的研究开发提供理论指导。

塑性成形过程中的组织、性能和应力应变场的变化规律,为塑性成形工艺及模具设计、成形设备选择、塑性成形件的组织和性能控制提供了理论指导,同时也为超塑性成形、板料柔性成形技术(无模多点成形、板料数控渐进成形技术、液压成形和软介质成形)、新型回转成形(辊锻、楔横轧、摆动碾压等)等新工艺的开发提供理论指导。

1.2 材料成形基础理论的发展

1.2.1 液态成形凝固理论的发展

从雪花凝结到火山熔岩固化,从常规条件下钢铁、有色金属(或合金)生产中铸锭、铸件、焊缝的结晶到超常条件下超细晶、非晶、微晶材料的快速凝固;从金属材料的凝固到半导体、各种人工晶体等无机非金属材料自液相的生长,以及聚合物材料的固化,都属于从液