

新世纪 GAOXIAO GUIHUA JIAOCAO 高校机械工程规划教材



材料成形技术基础

主 编 崔令江 郝滨海
副主编 莫德秀 王吉岱



新世纪

高校机械工程规划教材



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

新世纪高校机械工程规划教材

材料成形技术基础

主 编 崔令江 郝滨海
副主编 莫德秀 王吉岱
参 编 焦玉琴 孙清州 韩 飞 贺文雄
刘秀忠 陈怀明 景财年 李 达
主 审 王同海



机械工业出版社

本书较全面地介绍了金属材料和非金属材料的各种成形工艺方法、成形特点、成形件质量问题与对策、及各种成形所用成形设备等。包括金属液态成形、金属塑性成形、焊接成形、塑料成形、橡胶成形、复合材料成形、陶瓷成形、粉末成形,并介绍了选择材料成形方法的基本原则等。本书适应国家学科调整的改革方向,按照宽口径、厚基础的原则,将机械加工成形与材料成形相结合,注重实践能力的培养,为学生拓宽知识面、提高实践能力提供了较宽的空间。

本书是机械工程学科本科技术基础课教材,也可作为非材料专业学生的技术基础课教材,还可供有关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术基础/崔令江,郝滨海主编. —北京:机械工业出版社, 2003.7

新世纪高校机械工程规划教材

ISBN 7-111-12061-2

I. 材... II. ①崔...②郝... III. 工程材料—成型—加工—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 030258 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:高文龙 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·9.375 印张·364 千字

定价:23.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

新世纪高校机械工程规划教材编审委员会

顾问：艾兴（院士）

领导小组：张 慧 高振东 梁景凯 高文龙
赵永瑞 赵玉刚

委员：张 慧 张进生 宋世军 沈敏德
赵永瑞 程居山 赵玉刚 齐明侠
高振东 王守城 姜培刚 梅 宁
昃向博 梁景凯 方世杰 高文龙
王世刚 尚书旗 姜军生 刘镇昌

前 言

随着我国教育的不断发展,进行学科结构、课程内容结构的优化是一项重要工作,比较宽广的知识面是提高学生综合素质能力的具体体现之一。本教材作为机械工程学科的规划教材,适应国家学科调整改革方向,旨在使机械工程学科的学生了解材料成型的基本知识,为进行工业设计储备必要的加工成形方法的基本知识,使所设计的产品具有良好的加工性能、降低加工成本。

本教材主要介绍金属材料和非金属材料的加工成形方法,包括金属液态成形、塑性成形、焊接成形,以及塑料、橡胶、陶瓷和粉末成形,并介绍了材料成形选择的基本原则等内容。在编写过程中,编者力求适应机械工程学科的教学改革要求,使教材内容紧密结合材料成形新技术的发展动向,按照宽口径、厚基础的原则,加大技术基础知识含量,增加知识信息量、精炼成形原理基础,重点介绍了各种材料成形方法的特点、适用范围、工艺要点、质量问题对策及常用设备,并用一定量的生产产品实例作为增强剂,使学生能对材料成型的基本知识有比较全面的了解,同时深化对生产实践的认识。

本教材由哈尔滨工业大学(威海)崔令江教授和山东大学郝滨海教授主编,参加本教材编写工作的有崔令江(第一章,第七章第二节)、郝滨海(第三章第七节,第五章第六节、第六章第二节,第七章第一节)、山东理工大学莫德秀(第三章第四、五、六节)、山东科技大学王吉岱(第二章第一、六节)、青岛大学焦玉琴(第二章第二节)、山东建筑工程学院孙清州(第二章第三、四、五节)、哈尔滨工业大学(威海)韩飞(第三章第一、二、三节)、贺文雄(第四章第一、二节,第六章第三节)、山东大学刘秀忠(第四章第三、四、五、六节)、山东建筑工程学院陈怀明和景财年(第五章第一节~第五节)、青岛大学李达(第六章第一节)。全书由山东大学王同海教授审稿。

由于本书涉及专业面较广,编者水平有限,书中难免有错漏之处,敬请广大读者给以批评指正。

编 者

2003年3月

目 录

前言

第一章 概论	1
第一节 材料成型的基本特点	1
第二节 材料成型的基本过程	2
第三节 材料成型的发展趋势	6
第二章 金属液态成形	17
第一节 概述	17
第二节 铸造成形方法	19
第三节 精铸成形	33
第四节 压铸成形和半固态成形	39
第五节 铸造设备	45
第六节 铸件成形缺陷与防止措施	57
第三章 金属塑性成形	69
第一节 金属塑性成形理论基础	70
第二节 自由锻成形	72
第三节 模锻成形	79
第四节 板材冲压成形	86
第五节 其他塑性成形工艺	95
第六节 塑性成形零件质量控制	104
第七节 塑性成形设备	107
第四章 焊接成形	124
第一节 焊接原理	124
第二节 电弧焊	131
第三节 钎焊	143
第四节 电阻焊	157
第五节 焊接质量控制	174
第六节 焊接成形设备	181
第五章 塑胶成形	190
第一节 塑料成形基础	190
第二节 塑料注射成形	194
第三节 挤出成形工艺	215
第四节 塑料件质量控制	221

第五节 橡胶成形	226
第六节 塑胶成形设备	234
第六章 其他材料成形方法	243
第一节 复合材料成形	243
第二节 陶瓷成型	253
第三节 粉末成形	260
第七章 材料成形方法选择	276
第一节 选择材料成形方法的原则	276
第二节 材料成形方法的选择	279
参考文献	292

第一章 概 论

第一节 材料成型的基本特点

人类科技文明史可以说是人类对物质材料认识、加工、利用、创造的发展过程，每一类新材料及相应成形技术的发现和应用都会引起生产技术的革命，大大加速社会文明发展的进程。人类社会所谓石器时代、青铜器时代、铁器时代就是按生产活动中起主要作用的工具材料来划分的。人类把自然材料或人工材料采用适当的方式加工成所需要的具有一定形状、尺寸和使用功能的零件或产品，就是材料加工的过程。

一、常用材料加工方法

在现代材料加工范围里，所加工的材料有金属材料，也有非金属材料。材料加工方法也是多种多样的，一般分为以下几类。

1. 成形加工

通常又称为材料成形加工，这类加工方法不仅可以改变材料的形状尺寸，而且还常有改变材料性能的作用。如液态金属成形、金属塑性成形、焊接成形、粉末成形、橡胶成形及塑料成形等属于这一类加工方法。

2. 切除加工

通常又称为机械加工，这类加工主要是改变材料的形状尺寸。如车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钻削加工等传统加工方法，以及利用电能、化学能、声能、光能进行加工的电火花加工、线切割加工、电化学加工、激光加工、超声波加工等特种加工方法。

3. 表面成形加工

用来改变零件的表面状态和（或）性能，如表面形变及淬火强化、化学热处理、表面涂（镀）层和气相沉积镀膜等。

4. 热处理加工

用来改变材料或零件的性能，如退火、正火、淬火和回火等。

二、材料成型的基本特点

1. 产品性能好

材料成形的绝大多数零件具有良好的力学性能。如带有内部缺陷的金属材料在半固态成形过程中，经过金属熔化，在液固双相状态下成形，可以较好地避免在成形件内部产生缺陷；经塑性成形的零件，具有完整的金属流线，且由于在塑

性变形过程中有加工硬化现象,使其力学性能比原材料有一定程度的提高。

2. 可以生产复杂形状零件

铸造成形、锻造成形、冲压成形、塑料成形、橡胶成形、粉末成形许多材料成形方法可以生产形状非常复杂的零件。如铸造成形的发动机缸体零件,锻造成形的汽车前梁、发动机连杆,冲压成形的汽车门板、围板等覆盖件,塑料成形的壳体类零件等。

3. 材料利用率高

机械加工时被切削分离下来的部分材料均成为废料,而材料成形时,只有边缘部分或浇口部分是废料。所以,材料成形过程中产生的废料较少、材料利用率高。如铸造成形、锻造成形、塑料成形的材料利用率一般可达80%以上,许多零件成形的材料利用率可达90%以上;即使产生废料较多的汽车覆盖件冲压成形的平均材料利用率也可达70%。

4. 生产效率高

材料成形的生产效率普遍较高,特别是利用模具生产时的生产效率更高。如在压力机上模锻连杆生产时,手工操作的单班产量可达500件以上;大型汽车覆盖件冲压生产时,手工操作的单班产量可达1000件以上,自动化操作的单班产量可达2000件以上;在高速冲床上冲压成形小型零件时,自动化操作的单班产量更是可高达20000件以上。

5. 应用范围广

材料成形方法很多,各种成形方法都有自己的特点,甚至有别的成形方法不可替代的特点。由于材料成形的材料利用率高、生产效率高、产品质量高且生产成本低,所以,材料成形在机械、电子、化工、航空航天、日常家用物品等国民经济的各个行业都有极其广泛的应用。

第二节 材料成型的基本过程

材料成形有很多不同的成形方法。一般地,按成形的主要性质可分为液态金属成形、金属塑性成形、焊接成形、非金属材料成形等几大类,如图1-1所示。

任何一种材料成形方法,都是为了使材料产生形状尺寸及性能的变化。从工艺形态学的角度来看,实现这种变化的过程一般可以归纳为材料、能量和信息三个要素的变化过程。这三个要素变化过程的不同可以反映出不同加工方法的优缺点。

一、材料变化过程

1. 材料重量的变化

在材料成形过程中,材料重量的变化可分为两大类。即:材料重量基本不变

(或有少量的减少)和材料重量增加。液态金属成形、金属塑性成形、塑料成形及粉末成形等成形方法在成形过程中产生的废料很少,成形前后的材料重量没有发生大的变化,故都属于前一类;而焊接成形在成形过程中有材料的增加,属于后一类。

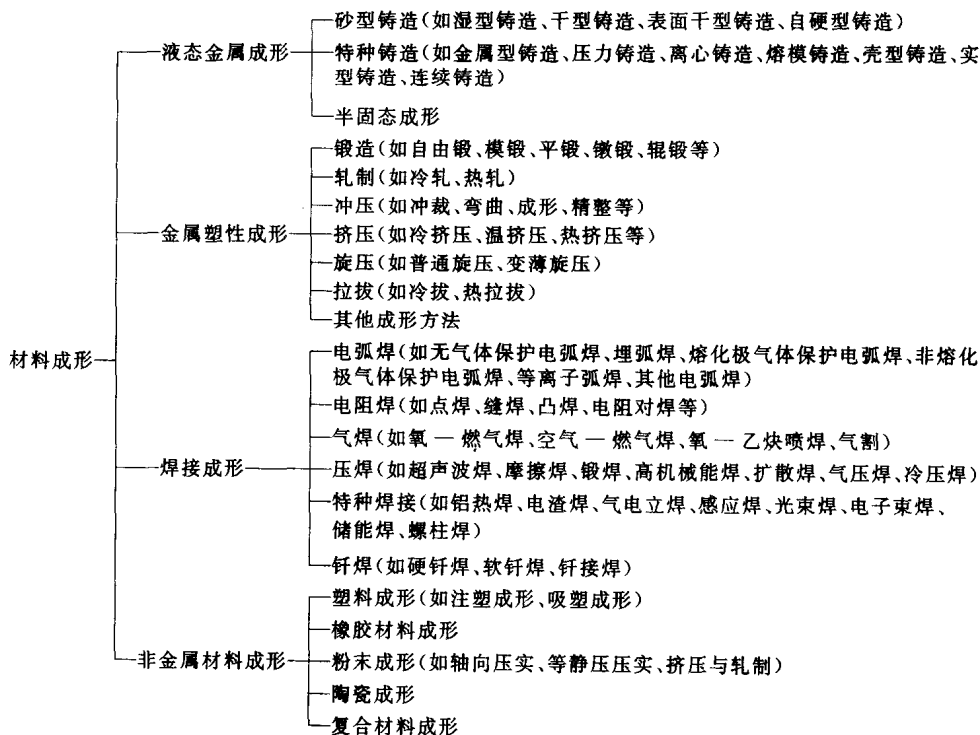


图 1-1 材料成形方法的分类

2. 材料状态的变化

任何一种材料成形方法所成形的零件产品都是固态的。但不同的材料成形方法,所用的原材料状态也可能不同,从而反映出成形方法的加工过程结构的差别。常见的材料成形方法所使用的原材料状态有固态、液态和颗粒(粉末)态。如:液态金属成形是将液态金属浇注入一定形状尺寸的型腔,凝固后形成所需要的零件;塑性成形是使固态的锭材或板材产生形状尺寸的变化,形成所需要的零件;粉末成形和塑料成形是将颗粒状态的原材料充填、压制和变形后形成所需要的零件;而熔焊、钎焊等则在成形过程中有固态材料和液态材料共存。

3. 材料形状和性能的变化

材料成形过程中材料形状和性能的变化,实际上是某种材料成形方法的工艺过程和工艺参数的反映。一般有三个阶段:

第一阶段:使材料形状尺寸和(或)性能发生初步变化而处于适当状态。如

加热、熔化、下料等。

第二阶段:使已处于适当状态的材料产生所要求的形状尺寸和性能的变化。如浇注、预锻、终锻、弯曲、拉深、压制、挤压等。

第三阶段:使工件达到所要求的最终状态。如凝固、冷却、切飞边、修边等。

这三个阶段都与加工产品的最终质量好坏有着密切的关系,因此,制定合理的工艺流程和选择合理的工艺参数对每一种材料成形方法都是非常重要的。

二、能量变化过程

实现材料成形过程,必然要消耗一定的能量。一般来说,成形过程中的输入能量总是大于材料成形所消耗的能量,即有一部分能量没有消耗在材料变形上。而不同的成形方法所使用的能量方式和消耗都不同。

能量是通过传递介质传递给材料或工件的,提供能量的传递介质可以是刚性的,也可以是流体的。图 1-2 所示为模锻成形示意图,模具为刚性介质,通过模具与加工材料的相对运动而实现材料的塑性变形;图 1-3 所示为静液挤压成形,通过高压液体介质使金属挤压成形。

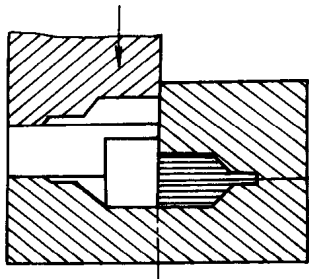


图 1-2 模锻成形示意图

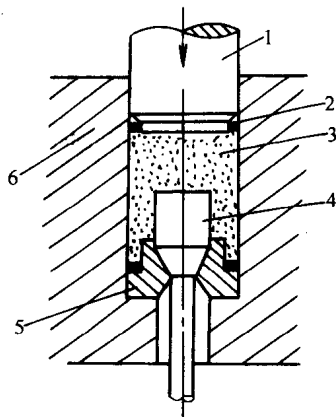


图 1-3 静液挤压成形示意图

1—冲头 2—密封圈 3—高压液体
4—坯料 5—凹模 6—挤压筒

有些材料成形方法是利用施加在材料上的压力差别来实现成形的。如板料成形中的气压胀形、液压胀形、橡胶胀形、塑料的吹塑成形和吸塑成形等(图 1-4)都是借助材料两面的压力差使材料产生变形。

有些材料成形方法是利用材料本身在重力场、磁场或电场中产生的质量力或运动惯性力来实现成形的。如铸造成形中的浇注过程、电磁成形和液电成形中毛坯的变形过程等(图 1-5)。

此外,还有些材料成形方法是利用化学能源(如炸药、可燃液体、可燃气体等)通过爆炸或燃烧产生能量,使周围的介质压力大大增加,对毛坯形成高压,或

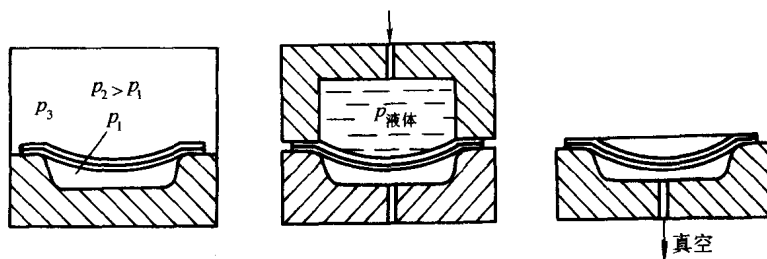


图 1-4 由压力差产生的成形过程

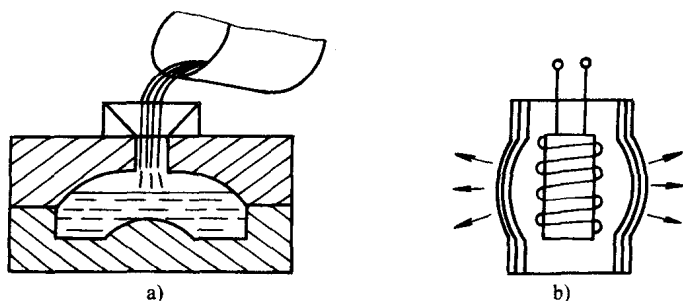


图 1-5 利用质量力或惯性力的材料成形方法

a) 浇注成形 b) 电磁成形

直接以压力差的方式，或以传递介质与加工材料相对运动的方式实现材料成形过程。如爆炸成形、内燃锤上高速成形等（图 1-6）。

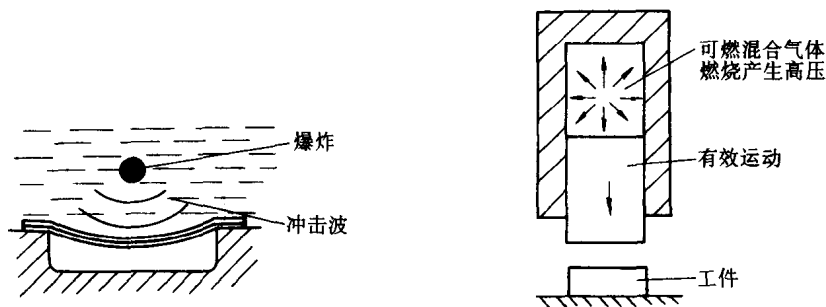


图 1-6 利用化学能源的材料成形方法

三、信息变化过程

在材料成形过程中，信息主要有形状信息和性能信息两个方面。材料成形的最终形状信息等于材料的初始形状信息与加工过程中所施加的形状变化信息之和。形状变化信息是由具有一定形状信息量的工具或模具与加工材料之间的相对运动共同产生的。也就是说，形状变化过程是利用能量变化把形状变化信息施加于材料形状变化的过程。

形状变化信息可以通过一个或几个阶段加于材料,即:

$$I = I_0 + \Delta I_{p1} + \Delta I_{p2} + \cdots + \Delta I_{pn}$$

式中

I ——要求获得的几何形状信息;

I_0 ——材料的初始形状信息;

ΔI_{p1} 、 ΔI_{p2} 、 $\cdots$ 、 ΔI_{pn} ——各个加工过程的形状变化信息。

材料成形过程所需的加工过程数(即工序数),既要考虑技术因素,又要考虑经济性因素。

在材料成形过程中,性能信息的变化包含材料初始性能与加工过程中材料性能的变化,其结果表现为工件最终的性能。如在塑性成形过程中,不仅使材料的形状尺寸发生了变化,而且材料的性能也在发生变化。

第三节 材料成形的发展趋势

纵观人类科技文明发展的历史可以看到,材料成形是永远不可缺少的技术。随着科学技术的发展,材料成形技术也将不断得到发展,不断拓宽自己的应用范围。根据目前的材料成形技术的现状和人类对材料成形技术的要求,材料成形在成形理论研究、新工艺技术开发、成形工艺交叉技术、成形过程的计算机模拟、新型专用设备开发、纳米材料成形等方面得到了进一步的研究和发展。

一、材料成形理论的深入研究

材料成形理论的研究在材料成形领域占有极重要的地位,许多新工艺新技术的开发和应用需要在理论方面的研究成果作为指导,而许多新工艺新技术的开发又促进了理论研究工作。所以,理论研究与成形技术的研究是相辅相成的。

1. 液态金属成形理论研究

液态金属成形中的核心问题是液态金属的凝固问题,它决定着成形件的组织 and 缺陷的形成,因而决定了成形件的性能和质量。近几十年来,借助于物理化学、金属学、非平衡热力学与动力学、以及计算数学的发展,从传热、传质和固液界面三个方面进行了大量研究,使金属凝固理论有了很大的发展,这不仅使人们对许多条件下的凝固现象和组织特征有了更深入的认识,而且为许多凝固技术和液态金属成形方法研究开发及生产应用提供了理论依据。例如,凝固理论已建立了铸件冷却速度和晶粒度以及晶粒度与力学性能之间的一些函数关系,从而为控制铸造成形工艺参数和铸件力学性能创造了条件。

2. 塑性成形理论研究

在塑性成形理论研究中,重点是对塑性变形规律的研究。材料在塑性加工中的变形规律直接影响到成形件的金属纤维方向结构、成形极限、工艺参数及产品质量。通过对不同的金属材料、不同的塑性成形工艺和不同的零件结构进行

分类研究,找出其塑性加工中金属塑性变形和塑性流动的规律,为优化工艺参数,提高成形极限和产品质量提供理论依据。如锻件质量控制的研究,板材冲压变形分区、破裂理论、起皱理论的研究等。

同时,借助于弹塑性有限元和粘塑性有限元法的发展,塑性加工过程的模拟得到较快的发展,促进了许多大型复杂形状零件的塑性加工工艺的进一步发展。

二、新工艺技术开发

工艺技术的开发与进步是材料成形技术永恒的课题。通过新工艺技术的开发,使产品质量不断提高,材料与能源消耗不断降低,劳动生产率不断提高。

1. 液态金属成形新技术

在液态金属成形技术中,定向凝固技术、快速凝固技术和复合材料的获得是新的技术发展趋势。

(1) 定向凝固技术 所谓定向凝固技术,是使液态金属的热量沿着一定的方向排出,或通过对液态金属施行深过冷,从而使晶粒的形成与发展(凝固)向着一定的方向进行,最终获得具有单方向晶粒组织或单晶组织的铸件的一种工艺方法。它经历了从功率降低法→快速凝固法→液态金属冷却法的发展过程。由于冷却及控制技术的不断进步,使热量排出的强度及方向性不断提高,从而使固液界面前沿液相中的温度梯度提高,这不仅使晶粒生长的方向性提高,而且组织更细长、挺直,并延长了定向区。定向凝固技术的最新发展是制取单晶体铸件,其突出的代表是单晶涡轮叶片,它比一般定向凝固柱状晶叶片具有更高的工作温度、抗热疲劳强度、抗蠕变强度和抗腐蚀性。这种高温合金的单晶叶片已用于新型航空发动机中,有效地增加了航空发动机的推力和效率,使航空发动机性能得到进一步提高。

(2) 快速凝固技术 快速凝固技术是一种倍受人们青睐的技术,它是在比常规工艺条件下的冷却速度($10^{-4} \sim 10 \text{ K/s}$)快得多的冷却条件($10^3 \sim 10^4 \text{ K/s}$)下,使液态合金转变为固态的工艺方法。利用这种凝固技术可使合金材料具有优异的组织 and 性能,如很细的晶粒(通常 $< 0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$,甚至纳米级的晶粒),合金无偏析缺陷和高分散度的超细析出相,高强度、高韧性等。快速凝固技术可使液态金属脱开通常的结晶过程(形核和生长),直接形成非晶结构的固体,即所谓金属玻璃。此类非晶合金为远程无序结构,具有特殊的电学性能、磁学性能、电化学性能和力学性能,目前已得到广泛的应用,如用作变压器铁心材料、计算机磁头及外围设备中零件的材料、钎焊材料等。

(3) 复合材料 复合材料是很有发展前途的先进材料,也是目前的研究热点之一,它是在非金属或金属基体中引入增强相或特殊成分,通过控制凝固使增强相按所希望的方式分布或排列的一种具有特殊性能的材料。由于复合材料的基体具有较高断裂韧度,加上增强相的存在,故能表现出与普通单相组织材料不同的

性能,如高强度、良好的高温性能和抗疲劳性能。目前已发展了多种制取复合材料的方法,利用凝固技术制备复合材料便是其中的一种。

2. 塑性加工成形新技术

近几十年来,精密加工、超塑性加工、特种成形等塑性加工成形技术得到了很大发展。

为了减少后续加工、节约原材料和能源消耗,人们总是希望所加工的产品能最大限度地接近成品零件。如板材普通冲裁时,冲裁件的尺寸精度和断面粗糙度都较差,采用精冲工艺,其断面粗糙度高达 $0.8 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 、尺寸精度可达 IT8~IT6 级。常用的精冲方法有带齿圈压板精冲、对向凹模冲裁等。某些板料采用超塑性气压成形,可以生产形状复杂的精确的壳体零件,若与扩散连接工艺相结合,还可生产形状复杂的板材结构件,用于航空航天器上,使器件重量大大减轻。又如采用数控弯曲机的非在线控制,可及时补偿回弹,达到精密弯曲的目的。

压力机(曲柄压力机和螺旋压力机)上模锻基本上取代了锤上模锻。因为,压力机比模锻锤更适应工艺精化及实现机械化、自动化连线生产的要求。采用精密模锻工艺,使模锻件的精度不断提高,有的锻件可达到不用切削的精度。精密模锻的工艺特点是对模锻的各个环节,如下料、毛坯处理、加热、冷却、模具材料和制造精度、模锻设备、工艺润滑等,都提出更加严格的技术要求,因而模锻件的形状尺寸及表面质量远比普通模锻件高。如精锻齿轮的齿形精度与切削加工的相当,精锻叶片的叶身部分只需后续磨削和抛光。精密模锻除在高温或中温下进行外,还可在冷态下进行,有时也采用热精锻与冷精锻或温精锻与冷精锻相结合的方法。

特种塑性成形技术得到了大量的研究开发。常规变形条件下固态金属的成形性总是不尽理想,加之影响金属流动的因素比较复杂、不易控制。因此,形状复杂精细的零件很难锻出;再者,固态金属的变形抗力较大,导致设备吨位增大,模具工作条件恶劣、寿命短,模具成本高。这些都是传统塑性加工的不利因素,而目前发展的一些特种塑性成形技术,对克服这些不利因素具有明显的优越性。

超塑性成形,是将某些金属进行预处理,获得稳定的超细晶粒组织(晶粒直径小于 $10 \mu\text{m}$),然后在恒定高温($T \approx (0.5 \sim 0.7) T_m$, T_m 为材料的绝对熔化温度)和低应变速率($\dot{\epsilon} \approx (10^{-4} \sim 10^{-2})/\text{s}$)条件下变形,则金属会表现出很大的伸长率(可达百分之几百、甚至百分之几千)、



图 1-7 超塑性模锻的 TC4
钛合金整体涡轮盘

无细颈、低应力（仅为常规变形时的几分之一到几十分之一）和易成形的特性。因而，超塑性成形方法可以生产用常规塑性加工无法生产的一些零件，如具有薄壁、薄腹板、高筋和细微凸出部的精密复杂零件。图 1-7 为超塑性模锻生产的 TC4 钛合金整体涡轮盘；图 1-8 为超塑性气压成形与扩散焊接复合工艺生产的板结构件。

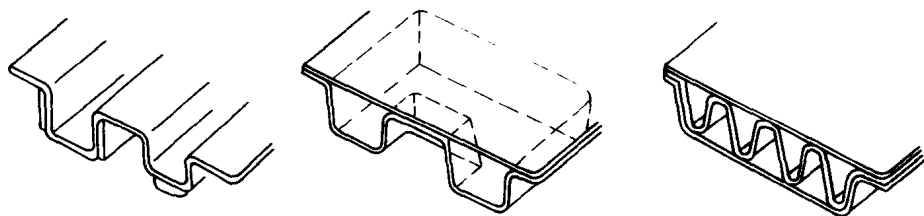


图 1-8 超塑性气压成形与扩散焊接复合工艺生产的板结构件

在塑性加工中，成形力大小是需要重点考虑的问题之一。为降低成形力，许多以省力为主要目的的成形方法得到了研究开发。降低成形力主要从应力状态、材料的流动应力和变形在主作用力方向上的投影面积等方面来采取措施。

应力状态与塑性加工类型、接触摩擦及变形体几何参数等有关。图 1-3 中所示的静液挤压，由于坯料与挤压筒之间充满高压液体，消除了外摩擦，加之挤压时坯料会将油液带入凹模孔内形成流体润滑，因此与普通挤压相比，力能消耗大为减小，而挤压变形程度却大为增加。

除超塑性成形外，液态模锻也是一种降低流动应力的塑性加工方法。液态模锻将铸、锻结合，将熔融金属直接注入金属模腔内，在压力作用下使液态金属充型、凝固，并同时产生一定量的塑性变形，所得到的成形件的组织均匀、晶粒细化、内部缺陷少，产品质量好。而且由于液体金属流动性好，充填容易，流动应力低，因此可以成形形状复杂、轮廓清晰或带有薄壁的锻件，而模锻力仅及普通模锻的几分之一。减小瞬时变形区面积不仅能直接减小总成形力，而且通过变形区毛坯受到的应力状态的改变，使单位面积的成形力（即变形抗力）也得到降低。根据这一指导思想，开发了许多把整体成形变为由局部变形的连续循环累积的塑性加工方法，如旋压、辊锻、楔形横轧、摆动辗压等都是体现这一成形特点的工艺方法。图 1-9 为摆动辗压示意图，其成形力仅及普通整体成形的 $1/5$ ，适宜于加工各种饼盘类及带法兰的轴类零件。

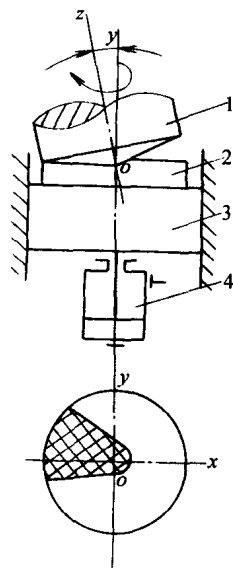


图 1-9 摆动辗压示意图

1—摆头 2—工件
3—砧座 4—液压系统

3. 焊接成形技术新发展

焊接作为材料成形加工的主要手段之一正在向各个

领域渗透。新的焊接结构正在不断出现,并向着大型化和高参数方向发展,焊接结构的工作条件越来越苛刻,要求也越来越严格。如原子能电站核压力容器为壁厚接近 200mm 的焊接结构,深海探测器则要求承受巨大的海水压力,它们都是典型的现代焊接结构。又如 50 万吨级的全焊接油轮,长 382m、宽 168m、高 27m,采用低碳钢和普通低合金钢制造,钢板最大厚度达 140mm。现代高层建筑的焊接钢屋架通常是在工厂内建成,然后运到工地安装,所用材料强度级别高于 490MPa,厚度达 100~150mm。

现在焊接结构除尺寸越来越大外,还往往是在高温、高压或低温、深冷环境下工作的,有的则是在动载或冲击条件下使用。例如,单机功率高达 1.2GW 的核电站锅炉(工作压力为 32.4MPa、蒸汽温度为 650℃)和汽轮机,以及与之配套的高压容器;容器达 5080m³ 的大型高压锅炉;直径达 33m、容积为 100000m³ 的储罐等,所有这些焊接结构都是在复杂苛刻的条件下工作的。这些大型焊接结构件的生产都促进了焊接技术的发展。

三、成形工艺交叉技术

开发跨学科、跨领域的交叉技术,往往使古老的技术焕发出新的生命力,产生意想不到的效果,带来良好的经济效益。

1. 半固态成形技术

半固态成形技术经过近 30 年的研究及发展,目前已进入工业应用阶段。半固态成形技术的原理是在液态金属的凝固过程中进行强烈搅拌(可以采用机械、电磁或其他方式),使普通铸造中易于形成的树枝晶网络骨架被打碎而保留分散的颗粒状组织形态。这样的显微组织(颗粒状、非枝晶状)在固液相区仍具有很好的流动性,从而可利用常规的成形技术如压铸、挤压、模锻等实现半固态金属的成形。与传统的液态金属成形技术相比,它具有成形温度低、延长模具寿命、改善生产条件 and 环境、成形件质量高、精度高等特点。而且,还可以利用半固态成形技术发展金属基复合材料、灰熔合金等。

2. 锻焊联合工艺

把大锻件分成几块锻制,然后拼焊成一体;或者将几个钢锭用电渣焊焊成一体,再锻成锻件。如电站设备容量不断加大,所需锻件和钢锭重量也相应加大,用常规的成形方法需要大吨位的生产设备,难以实现成形,而采用锻焊联合工艺则可以解决这一矛盾。

3. 粉末冶金锻造

与固态金属整体成形技术相比,颗粒(粉末)态的金属具有很好的充填性和成形性,且无偏析和便于合金化。因此,利用粉末冶金方法可以生产形状复杂、尺寸重量精确的零件。但是,粉末冶金制件密度低、力学性能较差,实际用途受到限制。如果将粉末冶金与锻造相结合,则可使粉末件的密度提高到理论密度的