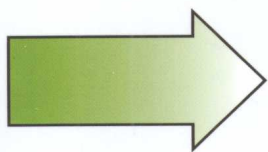


“十一五”上海重点图书
材料科学与工程专业
应用型本科系列教材



材料成形技术

主 编 孙 瑜 副主编 庞绍平 李书伟



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

ATERIAL

“十一五”上海重点图书

材料科学与工程专业应用型本科系列教材

材料成形技术

主 编 孙 瑜

副主编 庞绍平 李书伟



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

材料成形技术/孙瑜主编. —上海:华东理工大学出版社,2010.8

(材料科学与工程专业应用型本科系列教材)

ISBN 978-7-5628-2847-1

I. ①材… II. ①孙… III. ①工程材料—成型—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 123355 号

“十一五”上海重点图书

材料科学与工程专业应用型本科系列教材

材料成形技术

主 编 / 孙 瑜

副 主 编 / 庞绍平 李书伟

策划编辑 / 周永斌

责任编辑 / 郭 艳

责任校对 / 张 波

出版发行 / 华东理工大学出版社

社 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部) (021)64252253(编辑部)

传 真:(021)64252707

网 址:press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 16.25

字 数 / 399 千字

版 次 / 2010 年 8 月第 1 版

印 次 / 2010 年 8 月第 1 次

印 数 / 1—3000 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2847-1/TB·33

定 价 / 33.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

前 言

本书是依据 21 世纪我国对应用型工程技术人才的宽口径、厚基础、强能力的培养要求,吸取国内相关院校教学改革和课程建设的成果,并结合编者多年的教学实践体会和教学经验编写的。

材料成形技术是生产制造过程中必须考虑的重要问题之一。材料只有经过各种加工,包括材料的成形、切削加工、热处理、表面改性和连接等,形成产品,才能体现其功能和价值。尽管以金属材料为主要加工对象的制造技术仍占有较大的比重,但随着科技的飞速发展,各种新材料所占的比重也越来越大。材料成形技术已不再仅仅涉及金属材料的成形与加工,而是涉及各种不同的新材料。因此,拓宽材料成形技术的研究领域,建设好以现代工程材料成形技术为基础的课程,是适应当前工科教育和现代制造技术发展的必然趋势。

首先,本教材在内容和体系上进行了较大力度的改革。突出材料成形的理论基础,精选铸造成形、塑性成形、焊接与粘接等传统工艺方法,以及非金属制品成形、粉末冶金等内容。较大篇幅引入现代材料成形技术、成形工艺自动化及计算机技术在材料成形中的应用。同时,还强调了质量、成本及环保等教学内容。教师在教学过程中可根据专业培养方案和具体情况灵活操作或选择其中部分内容讲授。

其次,本教材注重理论联系实际。在讲清基本原理的基础上,从应用角度出发,引入较多的实例以启发学生,力求把基础理论与工程实践有机地结合起来。培养学生正确运用材料成形理论和方法的能力,使学生掌握分析问题和解决工程技术实际问题的初步能力,同时注重学生工程素养与创新思维能力的培养。

最后,本教材适用范围广。本书既可作为高等工科院校材料类、机械类专业学生的教材,也可供工科近机械类专业学生选用,同时还可供相关科研及工程技术人员学习参考。因此,本教材具有较强的实用性和一定的参考价值。

本书由盐城工学院孙瑜任主编,庞绍平、李书伟任副主编。参加编写的人员及其具体分工为:孙瑜(前言、绪论、第 1 章、第 2 章的 2.3 和 2.4),庞绍平(第 3 章的 3.2 和第 4 章),李书伟(第 2 章的 2.1~2.2 和第 3 章的 3.1),王洪霞(第 5 章和第 6 章)和宋娟(第 7 章和第 8 章)。

本书涉及的专业面较广,由于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,敬请读者批评指正。

目 录

绪论	1
1 材料成形理论基础	6
1.1 凝固成形基础理论	6
1.1.1 金属的熔化与凝固	6
1.1.2 金属的铸造性能	10
1.2 塑性成形基本原理	17
1.2.1 金属的塑性变形本质	18
1.2.2 塑性变形的组织与性能	19
1.2.3 金属塑性变形的基本规律	22
1.2.4 金属的塑性成形性能	24
1.3 焊接成形基本原理	28
1.3.1 熔焊的冶金过程	28
1.3.2 焊接接头组织与性能	29
1.3.3 金属的焊接性	31
1.3.4 焊接应力与变形	32
思考题	36
2 铸造成形	37
2.1 铸造方法	37
2.1.1 砂型铸造	37
2.1.2 特种铸造	41
2.1.3 铸造方法的比较	49
2.2 铸造工艺设计	52
2.2.1 铸件浇注位置和分型面的选择	52
2.2.2 铸造工艺参数确定	55
2.2.3 铸造工艺简图绘制	61
2.3 铸件结构工艺性	65
2.3.1 合金铸造性能对铸件结构的要求	65
2.3.2 铸造工艺对铸件结构的要求	70
2.3.3 铸造方法对铸件结构的要求	72
2.4 常用合金的熔铸	73
2.4.1 铸铁的熔铸	74

2.4.2 铸钢的熔铸	79
2.4.3 非铁合金熔铸	81
思考题	83
3 塑性成形	86
3.1 常用塑性成形方法	86
3.1.1 自由锻	86
3.1.2 胎模锻	94
3.1.3 模锻	95
3.1.4 板料冲压	101
3.1.5 其他塑性成形方法	106
3.2 锻压工艺设计	110
3.2.1 模锻工艺规程的制订	110
3.2.2 冲压工艺规程的制订	118
思考题	122
4 焊接与粘接	124
4.1 焊接方法	124
4.1.1 熔化焊	124
4.1.2 压力焊	134
4.1.3 钎焊	139
4.2 焊接工艺设计	140
4.2.1 焊接材料	140
4.2.2 焊接结构材料与焊接接头工艺设计	143
4.2.3 焊接方法的选用	149
4.2.4 焊接工艺参数的选择	150
4.2.5 焊接质量检验	151
4.2.6 焊接工艺设计举例	152
4.3 粘接	154
4.3.1 粘接的特点及应用	154
4.3.2 胶黏剂的组成和分类	155
4.3.3 粘接的基本原理	156
4.3.4 粘接的工艺	157
4.4 常用材料的连接成型方法	159
4.4.1 金属和合金的焊接	159
4.4.2 碳素钢和低合金结构钢的焊接	160
思考题	164
5 非金属制品成形	166

5.1 塑料制品成形	166
5.1.1 概述	166
5.1.2 塑料制品成形过程	167
5.2 橡胶制品成形	172
5.2.1 概述	172
5.2.2 橡胶制品的生产过程	172
5.2.3 橡胶制品的成形方法	174
5.3 陶瓷制品成形	175
5.3.1 陶瓷制品成形基本原理	175
5.3.2 陶瓷材料成形的工艺过程	176
思考题	183
6 粉末冶金与复合材料成形	185
6.1 粉末冶金基本原理	185
6.1.1 金属粉末的性能	185
6.1.2 粉末压制原理	186
6.1.3 烧结原理	187
6.2 粉末冶金技术的特点和应用	188
6.3 粉末冶金工艺过程	188
6.3.1 粉末制备	188
6.3.2 粉末预处理	189
6.3.3 粉末成形	190
6.3.4 粉末烧结	191
6.3.5 后处理	192
6.4 粉末冶金制品结构工艺性	192
6.5 复合材料制品成形	194
6.5.1 复合材料成形的工艺特点	194
6.5.2 复合材料制品的成形方法	194
思考题	199
7 材料成型的方法选择、质量控制及经济性分析	200
7.1 材料成型方法选择原则	200
7.1.1 功能性原则	200
7.1.2 工艺性原则	201
7.1.3 经济性原则	201
7.1.4 环保性原则	203
7.2 常用机械零件成形方法的选择	203
7.2.1 轴杆类零件	204
7.2.2 盘套类零件	204

7.2.3 机架箱体类零件	205
7.2.4 机械零件成形方法选择举例	205
7.3 材料成形加工质量控制	207
7.3.1 成形前检验	207
7.3.2 成形过程检验	208
7.3.3 成形后最终检验	209
7.4 材料成形加工的技术经济分析	211
7.4.1 改进产品的结构工艺性	211
7.4.2 改变材料和工艺	212
7.4.3 采用先进工艺	212
思考题	213
8 现代材料成形技术与发展	214
8.1 现代铸造技术	214
8.1.1 定向凝固	214
8.1.2 金属半固态加工	217
8.1.3 快速凝固	219
8.1.4 差压铸造	223
8.1.5 复合铸造	223
8.2 现代塑性成形技术	226
8.2.1 粉末锻造	226
8.2.2 金属等温成形	228
8.2.3 连续挤压	228
8.2.4 连续铸挤	230
8.2.5 复合塑性成形	230
8.3 现代焊接与热切割技术	233
8.3.1 激光焊	233
8.3.2 电子束焊	234
8.3.3 摩擦焊	235
8.3.4 爆炸焊	237
8.3.5 扩散连接	239
8.3.6 热切割	239
8.4 材料成形复合工艺	239
8.5 快速原型技术	240
8.5.1 立体印刷	240
8.5.2 分层实体制造	240
8.5.3 选择性激光烧结	241
8.5.4 熔化沉积成型	241
8.5.5 三维打印	242

8.5.6 固基光敏液相法	242
8.5.7 热塑性材料选择性喷洒	243
8.5.8 变长线扫描选择性激光烧结	243
8.5.9 高功率激光二极管线阵能量源选择性激光烧结	243
8.6 其他成形新技术	244
8.6.1 计算机技术在材料成形加工中的应用	244
8.6.2 材料成形加工生产的自动化和柔性化	245
思考题	246
主要参考文献	247

绪 论

材料是用来制造机器零件、构件和其他可供使用物质的总和。按化学组成不同,材料可分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。

材料是人类生产和生活的物质基础。材料的发展推动人类社会的进步,从人类最早使用的石器材料发展到如今文明社会大量使用的各类金属、非金属材料及复合材料便能充分说明这一点。而人类社会的进步又促进材料的发展。在认识世界和改造世界的漫长岁月里,人类凭借自己的聪明才智,相继研制和开发了各种新材料、新工艺,促进了材料的发展。

一、材料成形技术的发展概况

在世界科学技术发展史上,我国在材料开发及其成形工艺方面的成就是举世瞩目的。我们祖先是最早开始使用陶器和瓷器的,五代时期我国的陶瓷技术已经达到很高的水平。从15世纪开始,陶瓷技术才传入欧洲。

我国的冶铸技术至少有4 000年的悠久历史,前2 000年是青铜的天下。到商周时代,冶铸技术已达到很高水平,形成了灿烂的青铜文化。其中具有代表性的有司母戊大方鼎(商代晚期,青铜铸造,重875 kg,高1.37 m),其造型厚重而雄伟,是中国青铜时代最重的艺术铸件。秦始皇陵兵马俑坑出土的三把合金钢锻制的宝剑也足以为证,其中一把至今光艳夺目、锋利如昔,令目睹者叹为观止。经分析测定,宝剑锻制后,剑身进行了表面渗铬处理。由此可见,当时的热处理技术已达到了很高的水平。

除此之外,我国也是世界上应用焊接技术最早的国家之一。河南辉县战国墓中的殉葬铜器的耳和足就是用铸焊方法与本体连接的,该方法比欧洲早了2 000多年。从秦始皇陵陪葬坑出土的两乘大型彩绘铜车马更是突出的例子。每乘有一车四马,由一名御官驾驭,其制作材料以青铜为主,并配以金、银饰品,由3 000多个零部件组成,结构精巧,栩栩如生。此外,诸如越王勾践青铜宝剑“千年不锈”的防腐技术;吴王夫差矛表面“镂纹”工艺的不解之谜;永乐大钟精湛绝伦的制造工艺及其卓越的声学特性等等,都淋漓尽致地表现了我们祖先在材料成形方面的精湛技艺。

我国明朝宋应星所著的《天工开物》是世界上关于材料及其成形工艺方面最早的科学著作之一。书中记载了冶铁、铸钟、锻造、淬火等多种金属材料及其成形方法。但是,由于封建制度的束缚,我国的科学技术没有保持在早期辉煌的基础上持续发展的势头,加之百余年来外国列强的侵略和掠夺,直至近代已经处于大大落后于欧美的状态。

新中国成立以后,我国机械制造业得到了飞速发展,经历了由仿制到自行设计、制造,从生产普通机械到制造精密和大型机械,从生产单机到制造成套设备的发展过程。例如,20世纪50年代,自行制造汽车、拖拉机及飞机;60年代,制造万吨水压机和齿轮磨床、坐标镗床

等精密机床;70年代,制造大型成套设备和万吨级远洋巨轮;直至90年代,为我国航天、原子能等工业领域提供先进的技术装备等等。

时至今日,包括汽车、拖拉机、造船、航空航天、重型机械、精密机床和精密仪表等产品的门类基本齐全且分布比较合理的机械工业体系已经形成。工业、农业、国防等部门装备了机械产品,它们支持着各部门的发展。与此同时,材料及其成形技术也得到了长足的发展和进步。重型机械的制造能力是反映一个国家材料成形加工技术水平的重要标志。例如,我国成功地进行了耗用钢水达490 t的轧钢机机架和长江三峡电站巨型水轮机的巨型铸件的铸造,锻造了196 t汽轮机转子,采用铸-焊组合方法制造了12 000 t水压机的立柱(高18 m)、底座和横梁等大型零部件。另外,我国已成功地生产出了用于锻造大型锻件的12 000 t水压机,解决了30万吨级远洋油轮船体的焊接技术,CAD/CAE/CAM等计算机技术及机器人技术在材料成形技术中得到越来越广泛的应用,粉末冶金、高分子、陶瓷、复合材料制品的应用也日益扩大。

随着一大批以材料成形技术为重要支撑的行业和企业的成长壮大,我国现已基本建成了较完备的汽车工业生产体系,并已成为世界第一大汽车生产国;自主发展起来的航空制造业已初具规模,可以生产较先进的各种用途的军用飞机和中型及大型民用飞机;另外,船舶制造业跻身于世界前列。我国是世界上少数的几个拥有运载火箭、人造卫星和载人飞船发射实力的国家,这些航天飞行器的建造离不开先进的材料成形加工技术,其中,火箭和飞船的壳体都是采用高强轻质材料,通过先进的特种焊接和胶接技术制造而成的。进入21世纪以后,随着改革开放步伐和国际经济一体化进程的加快,我国已成为全球制造业的中心之一,材料成形技术水平通过技术引进和技术创新达到了新的高度。与此同时,我国制造业生产的产品在质量、品种和产量上都比过去有了大幅度的提高,其中一些重要的产品(如彩电、手机、洗衣机等)的产量已居世界第一,这不仅极大地丰富和满足了国内市场需求,而且以强大的竞争力不断扩展其在国际市场上的占有率,成为中国经济充满活力、蒸蒸日上的具体体现。

当然,我们也应该清楚地看到我国与发达国家相比在材料成形技术水平上还存在差距,尤其是在技术创新能力和企业核心竞争力方面的差距还很大,要赶超世界先进水平还需要做出不懈的努力。

二、材料成形技术的作用和地位

首先,材料成形技术在工业生产的各部门和行业都有广泛应用,尤其对于制造业来说更具有举足轻重的作用。材料成形加工行业是制造业的重要组成部分。材料成形加工技术是汽车、电力、石化、造船及机械等支柱产业的基础制造技术,新一代材料加工技术也是先进制造技术的重要内容。铸造、锻造及焊接等材料加工技术是国民经济可持续发展的主体技术。据统计资料显示,我国近年来制造业占国民生产总值GDP的比例已超过35%。同时,制造业的产品还广泛地应用于国民经济的诸多其他行业,对这些行业的运行产生了不可忽视的影响。因此,作为制造业的一项主要的基础生产技术,材料成形加工在国民经济中占有十分重要的地位,并且在一定程度上代表着一个国家的工业和科技发展水平。

其次,一大批以材料成形技术为重要支撑的行业和企业已经成长壮大。在改革开放基

本国策的正确指引下,我国汽车工业抓住机遇,奋力拼搏,加快发展,不断实现新的跨越,已经形成比较完整的汽车及零部件生产和配套体系,基本满足了经济建设和国内市场的需求,成为世界汽车的生产大国。从近十年中国船舶制造业占世界造船市场份额的变化可以看出,中国船舶制造业在全球市场上所占的比重正在明显上升,中国已经成为全球重要的造船中心之一。我国是世界上少数的几个拥有运载火箭、人造卫星和载人飞船发射实力的国家,这些航天飞行器的建造离不开先进的热加工成形工艺,其中,火箭和飞船的壳体都是采用高强轻质材料,通过先进的特种焊接和胶接技术制造而成的。

再次,据统计,占全世界总产量将近一半的钢材是通过焊接制成构件或产品后再投入使用的。在机床和通用机械中铸件质量占 70%~80%,农业机械中铸件质量占 40%~70%;汽车中铸件质量约占 20%,锻压件质量约占 70%;飞机上的锻压件质量约占 85%;发电设备中的主要零件如主轴、叶轮、转子等均为锻件制成;家用电器和通信产品中 60%~80%的零部件是冲压件和塑料成形件。

总之,材料成形技术是整个制造业中一个重要的领域。只有使用先进的材料成形技术,才能使产品获得高质量的结构和性能。因此,大力发展材料成形技术,对于我国优化和调整产业结构,加强企业的技术创新能力和企业核心竞争力是至关重要的。

三、材料成形技术的发展趋势

1. 近净成形技术

近净成形技术是指零件成形后,仅需少量加工或不再加工,就可用作机械构件的成形技术。它是建立在新材料、新能源、机电一体化、精密模具技术、计算机技术、自动化技术、数值分析和模拟技术等多学科高新技术成果基础上,改造了传统的毛坯成形技术,使之由粗糙成形变为优质、高效、高精度、轻量化、低成本的成形技术。它使得成形的机械构件具有精确的外形、高的尺寸精度、形位精度和好的表面粗糙度。其发展的总趋势是,由近成形(Near shape forming)向净成形(Net shape forming)发展,即向通常所说的精密成形方面发展。

近年来,工业发达国家一直致力于开发近净成形新技术,因而近净成形所占比重和成形件精度以及成形零件的复杂程度都有很大提高。例如,汽车缸体铸件已经做到 3~4 mm 壁厚,轿车齿轮已有很多可以采用冷挤压生产,齿形不再加工。新材料的发展推动了新成形技术的研究开发,高密度能源(如激光、等离子束、电子束等)的发展和近净成形技术的应用,也推出了一批新的近净成形工艺。在我国,近净成形技术在整个成形制造生产中所占比重还比较低,成形件精度总体水平要比发达国家低 1~2 个等级,一些新技术只有少数企业采用,不少复杂难成形件尚难以生产,部分先进成形设备、机械手机器人及自动化生产线国内还不能成套提供。

2. 快速成形技术

快速成形技术(Rapid Prototyping,简称 RP)又称快速原型制造技术(Rapid Prototyping Manufacturing,简称 RPM),诞生于 20 世纪 80 年代后期,是基于材料堆积法的一种高新制造技术,被认为是近 20 年来制造领域的一项重大成果。它集机械工程、CAD、逆向工程技术、分层制造技术、数控技术、材料科学、激光技术于一体,可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转变为具有一定功能的原型或直接制造零件,从而为零件原型制作、新设计思想的校

验等提供了一种高效低成本的实现手段。换句话说,快速成形技术就是利用三维 CAD 的数据,通过快速成型机,将一层层的材料堆积成实体原型。

快速成形技术是在计算机控制下,基于离散-堆积原理采用不同方法堆积材料,最终完成零件的成形与制造的技术。从成形角度看,零件可视为“点”或“面”的叠加,即从 CAD 电子模型中离散得到“点”或“面”的几何信息,再与成形工艺参数信息结合,控制材料有规律、精确地由点到面,由面到体地堆积零件。从制造角度看,它根据 CAD 造型生成零件三维几何信息,控制多维系统,通过激光束或其他方法将材料逐层堆积而形成原型或零件。近十几年来,随着计算机技术的迅速普遍和 CAD/CAM 技术的广泛应用,RP 技术得到了异乎寻常的高速发展,表现出很强的生命力和广阔的应用前景。快速成形技术发展至今,以其技术的高集成性、高柔性和高速性得到了迅速发展。目前,快速成形的工艺方法已有几十种之多,其中主要工艺有四种基本类型:光固化成型法、分层实体制造法、选择性激光烧结法和熔融沉积制造法。

3. 计算机技术与材料成形

计算机技术在设计、制造、管理等方面的广泛应用促进了材料成形技术的信息化和现代化,已成为未来成形技术发展的热点。

铸造成形过程模拟的探索性工作始于求解铸件的温度场分布。单纯的传热过程模拟并不能准确计算出铸件的温度变化和预测铸造中可能产生的缺陷,充模过程对铸件初始温度场分布的影响以及凝固过程中液态金属的流动对铸件缺陷形成的影响都是不可忽视的。铸件充模过程的模拟技术始于 20 世纪 80 年代,它以计算流体力学的理论和方法为基础,经历十余载,从二维简单形状开始,逐步深化和扩展,现已成功实现了三维复杂形状铸件的充模过程模拟,并能将流动和传热过程相耦合。目前,铸造成形过程数值模拟的研究主要体现在以下几个方面:(1)判据和预测铸件缩孔缩松定量预测方法已经在铸造厂得到应用,并取得满意的结果,尤其对大型铸钢件的预测,均与生产检验较吻合。(2)模拟铸造过程应力场的数值模拟能帮助工程师预测和分析铸件裂纹、变形及残余应力,为提高铸件尺寸精度及稳定性提供了科学依据。(3)微观组织模拟是一个较新的研究领域,通过计算机模拟预测铸件微观组织形成,进而预测其力学性能,最终控制铸件质量。目前,微观组织模拟已取得了显著成果,能够模拟枝晶生长、共晶生长、柱状晶等轴转变等。以汽车中曲轴为例,对球铁微观组织进行模拟,并将模拟结果与实验结果进行比较,实际石墨球的数量、尺寸与模拟结果基本吻合,取得了令人满意的结果。

塑性成形是一个十分复杂的过程,通过分析工件在成形过程中不同阶段不同部位的应力分布、应变分布、温度分布、硬化状况以及残余应力等,以寻求最为有利的工艺参数和模具结构参数,从而对产品质量实现有效控制。近年来,通过计算机,采用有限元法或其他数值分析方法模拟各种塑性加工工序的变形过程得到了广泛的应用和发展。(1)板料冲压生产的数控冲床,自动换模系统和自动送料系统,锻造生产中使用的机械手等都是计算机控制锻压生产的例子。这种方法可以大大地提高生产率,降低工人劳动强度并提高生产的安全性。(2)模具 CAD/CAM,即用计算机语言描述产品的几何形状,并输入计算机,从而获得产品的几何信息,再建立数据库,用以储存产品的数据信息,如材料的特性、模具设计准则以及产品的结构工艺性准则等。在此基础上,计算机能自动进行工艺分析、工艺计算,自动设计最优工艺方案,自动设计模具结构图和模具型腔图等,并输出生产所需的模具零件图和模具总装

图。计算机还能将设计所得到的信息自动转化为模具制造的数控加工信息,再输入到数控中心,实现计算机辅助制造。

计算机软件技术在焊接中的应用越来越得到人们的重视。目前,计算机模拟技术已用于焊接热过程、焊接冶金过程、焊接应力和变形等的模拟;数据库技术被用于建立焊工档案管理数据库、焊接符号检索数据库、焊接工艺评定数据库、焊接材料检索数据库等;在焊接领域中,CAD/CAM 的应用正处于不断开发阶段,焊接的柔性制造系统也已出现。焊接机器人是焊接自动化的革命性进步,它打破了焊接刚性自动化的传统方式,开拓了一种柔性自动化新方式。焊接工程的专家系统是具有相当于专家的知识 and 经验水平,以及具有解决焊接专门问题能力的计算机软件系统。在此基础上发展起来的焊接质量计算机综合管理系统在焊接中也得到了应用,其内容包括对产品的初始试验资料和分析、产品质量检验、销售监督等,其软件包括数据库、专家系统等技术的具体应用。

随着计算机科学的发展,基于并行工程(CE)的模具 CAD/CAM 的技术,计算机技术不仅能实现面向制造和装配的设计,而且能实现材料成形过程中的模拟和加工过程的仿真,使设计、制造一体化。

四、本课程教学要求及学习方法

通过本课程的学习,使学生能够较全面地了解材料的成形方法,掌握各种主要材料成形方法的基本原理、工艺特点和应用范围。使学生掌握选择毛坯、零件的成形方法以及工艺分析的初步能力,培养学生发现问题、分析问题和解决问题的实践能力。通过学习熟悉零件结构设计的工艺性要求,了解与本课程有关的新技术、新材料和新工艺。

材料成形技术是一门综合技术学科,其体系较为庞杂,知识点多而分散,因此在学习中学生要注意抓好课程的主线,即抓住“成形原理—成形方法及应用—成形工艺设计—成形件的结构工艺性”这样一条主线。这将有利于学生在学习中保持清晰的思路,有利于对本课程内容的总体把握。另外,本课程又是一门有着丰富工程应用背景的课程,因此在学习时要十分重视对工程素质的培养,要了解工艺问题的综合性和灵活性,学会全面地、辩证地看问题。

总之,本课程是一门实践性很强的课程,因此在学习时要理论联系实际,要注意结合金工实习的实践经历和日常生活中接触到的机械产品的实例,加深对基本原理和重要概念的理解,认真完成课后作业。本课程中所涉及的知识将在后续的专业课程学习、课程设计和毕业设计(论文)中再现。因此,该课程也为后续课程的学习打下基础,同时利用后续课程的学习,巩固提高所学内容,做到学以致用。

1 材料成形理论基础

1.1 凝固成形基础理论

1.1.1 金属的熔化与凝固

1. 液态金属的结构与性质

熔化是通过加热将金属由固态转变为熔融态的过程。在铸造生产中,熔化得到的液态金属在熔点以上,过热不高,一般高于熔点 $100\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

实验表明,金属熔化时典型的体积变化 $\Delta V_m/V_m$ (多为增大)为 $3\%\sim 5\%$ 左右,表明液体的原子间距接近于固体,其系统混乱度在熔点附近只是稍大于固体而远小于气体;金属熔化潜热 ΔH_m 比其汽化潜热 ΔH_b 小得多,为 $1/30\sim 1/15$,表明熔化时其内部原子结合键只有部分被破坏。由此可见,金属的熔化并不是原子间结合键的全部破坏,液体金属内原子的局域分布仍具有一定的规律性。可以说,在熔点(或液相线)附近,液态金属(或合金)的原子基团内短程结构类似于固体,但与气体截然不同。在短距离的小范围内,其原子具有近似于固态结构的规则排列,即存在众多短程有序的原子基团。但这些原子基团是不稳定的,瞬时出现又瞬时消失,犹如在不停地游动,这种现象称为结构起伏。温度越高,原子基团越小,游动越快。在长距离的大范围内,原子排列呈现出无规律的特征,不同于固态金属,如图 1-1-1 所示。

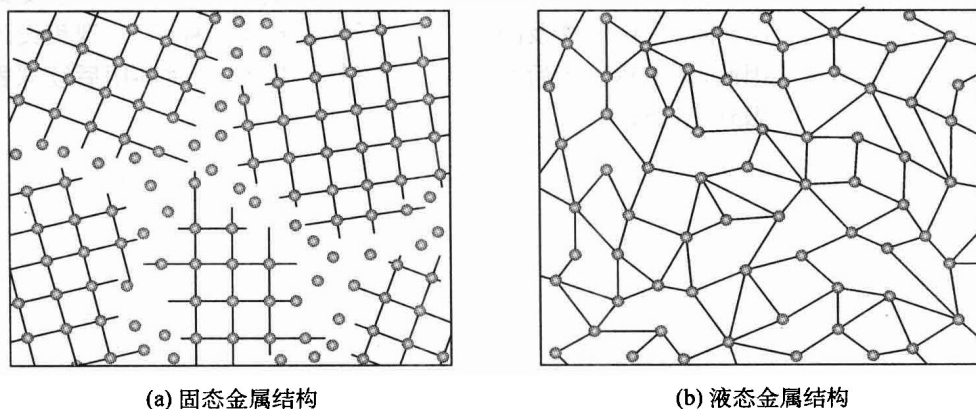


图 1-1-1 固态与液体金属结构比较

上述结构特点决定了液态金属具有黏度和表面张力等特性。黏度是介质中一部分质点对另一部分质点做相对运动时所受到的阻力。与气体不同,液体(和固体相似)分子处于连续相互作用中,并且作用力较大。液态金属在外力作用下其形状的改变与固态受力变形不同,前者是不可逆的,非弹性的,且这种形状的改变所需作用力很小。黏度对液态金属成形轮廓的清晰程度及缺陷(如热裂、缩孔、缩松)的形成倾向等都有较大的影响。表面张力是表面上平行于表面切线方向且各方向大小相等的张力,它在大体积系统中显示不出其作用,但在微小体积系统中会显示出很大的作用。液态金属的表面(界面)对晶体形态的选择及热裂的形成有着重要的影响。

需要指出的是,实际液态金属比上述现象复杂得多,因为工业应用的金属主要是合金,而且是多元的。其中存在大量杂质,即使高纯金属(合金)的杂质含量较少,但其原子数大得惊人。此外,金属在冶炼过程中,与周围的介质(如炉气、熔剂等)相互作用,也会带入许多杂质。

2. 金属的凝固

物质由液态转变为固态的过程称为凝固。由于固态金属均为晶体,因此金属的凝固过程又称为结晶。

(1) 金属的结晶过程

液态金属结晶时,首先在液态中出现一些微小的晶体——晶核,它们不断长大,同时新晶核也在不断产生并相继长大,直至液态金属全部消失为止,如图 1-1-2 所示。因此金属的结晶包括晶核的形成和晶核的长大两个基本过程,并且这两个过程是同时进行的。

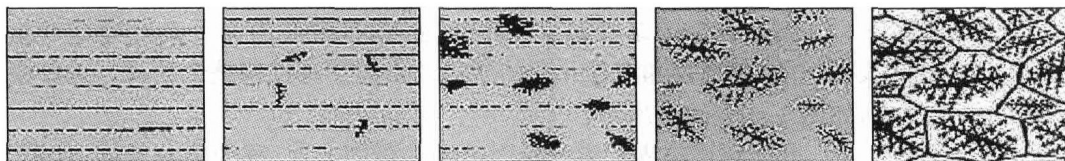
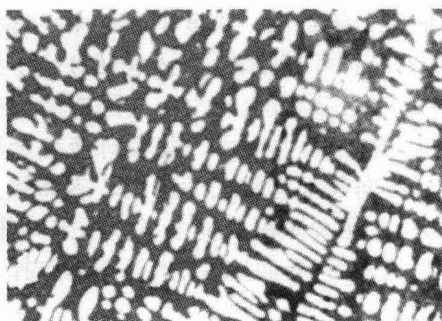


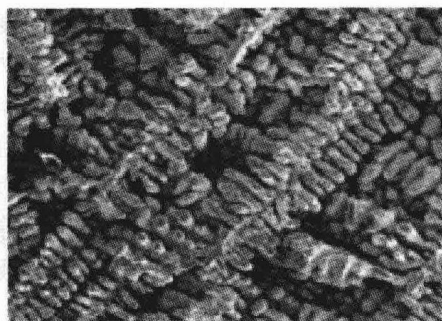
图 1-1-2 金属凝固过程

① 晶核的形成 当液态金属冷至结晶温度以下时,某些类似晶体原子排列的小集团便成为结晶核心,这种由液态金属内部自发形成结晶核心的过程称为自发形核。而在实际金属中常有杂质的存在,液态金属依附于杂质更容易形成晶核。这种依附于杂质或型壁而形成晶核的过程称为非自发形核。在金属结晶时,自发形核和非自发形核是同时进行的,但非自发形核常起到优先和主导作用。

② 晶核的长大 晶核形成后,当金属过冷度较大或存在杂质时,金属晶体常以树枝状的形式长大。晶核形成初期,其外形一般比较规则,但随着晶核的长大,晶体的顶角和棱边也开始形成,此处散热条件优于其他部位,因此在顶角和棱边处以较快成长速度形成枝干。同理,在枝干的长大过程中,又会不断生出分支,最后填满枝干的空间,从而形成树枝状晶体,简称枝晶,如图 1-1-3 所示。



(a) 二维



(b) 三维

图 1-1-3 枝晶形态

(2) 铸件的凝固方式

金属的凝固,实质上就是其原子排列由短程有序状态的液体转变为长程有序状态的晶体的过程,这一过程不仅使铸件的形状固定下来,同时也决定了铸件的结构和性能。铸件的凝固方式在其中起着重要的作用。铸件的凝固通常是从外向内进行的,在凝固过程中,其断面上一般存在三个区域,即固相区、固相与液相并存的凝固区和液相区。根据其中凝固区宽度的不同,可将铸件的凝固方式分为以下三种类型:

① 逐层凝固方式 纯金属和共晶成分的合金是在恒温下结晶的,铸件凝固时其凝固区宽度接近于零,所以铸件外层已凝固的固相区和内部尚未开始凝固的液相区之间被一清楚的界面分开。随着温度的下降,液相区不断减小,固相区不断增厚而向里推进,直至到达铸件中心。这种凝固方式称为逐层凝固,如图 1-1-4(a)所示。

② 糊状凝固方式 如果合金的结晶温度范围很宽,或者铸件断面上温度梯度较为平坦,则在凝固的某段时间内,其固相和液相并存的凝固区会贯穿铸件的整个断面。这种凝固方式称为糊状凝固,如图 1-1-4(c)所示。

③ 中间凝固方式 介于逐层凝固和糊状凝固之间的凝固方式,称为中间凝固,如图 1-1-4(b)所示。这是大多数合金的凝固方式。

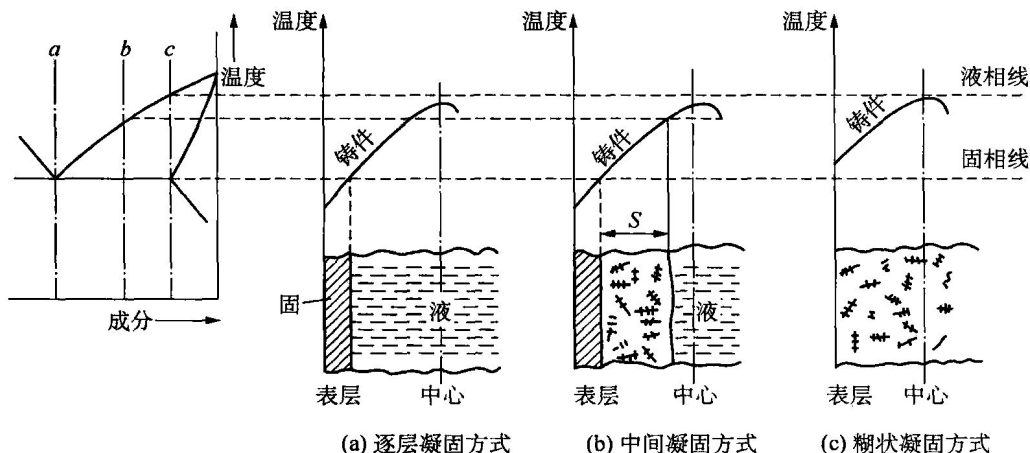


图 1-1-4 铸件的凝固方式