



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

毛卫民 主编

Mao Weimin

任学平 张建勋 魏艳红 邸宏双 副主编

Ren Xueping Zhang Jianxun Wei Yanhong Di Hongshuang

金属材料成形与加工

Forming and Processing of Metallic Materials



<http://www.tup.com.cn>

清华大学出版社

全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

ISBN 978-7-302-17902-3



9 787302 179023 >

定价：60.00元

内 容 简 介

本书是全国工程硕士研究生教育核心教材,主要用于相关专业工程硕士的专业基础课程教学,以便承接后续专业课。全书较为系统地介绍了与金属材料成形与加工有关的知识,如金属的凝固、塑性变形及连接,除了传统的金属材料,对其他现代材料如超塑性材料、粉末材料、陶瓷材料等也有所涉及。本教材适用于金属材料、材料加工、冶金工程等工程硕士专业,也适合用作相关专业普通硕士生、本科生,乃至相关工程技术人员的专业参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

金属材料成形与加工/毛卫民主编. —北京:清华大学出版社,2008.12

(全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材)

ISBN 978-7-302-17902-3

I. 金… II. 毛… III. 金属材料—成型—加工—研究生—教材 IV. TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 090807 号

责任编辑:宋成斌 赵从棉

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:35.75 字 数:780千字

版 次:2008年12月第1版 印 次:2008年12月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:60.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系
调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:016793-01

目 录

第 1 章 金属的凝固	/1
1.1 凝固的热力学	1
1.1.1 凝固的热力学条件	1
1.1.2 曲率对平衡熔点的影响	2
1.2 凝固的动力学	3
1.2.1 均匀形核	3
1.2.2 非均匀形核	5
1.2.3 晶核的长大	7
1.3 单相合金的凝固	15
1.3.1 凝固过程的溶质再分配	15
1.3.2 凝固界面的稳定性	23
1.3.3 胞晶与枝晶组织	31
1.4 多相合金的凝固	37
1.4.1 共晶合金的凝固	37
1.4.2 包晶合金的凝固	49
1.4.3 偏晶合金的凝固	52
参考文献	54
第 2 章 金属的塑性变形	/56
2.1 金属材料的强韧化	56
2.1.1 金属材料的强度	56
2.1.2 金属材料的强化	59
2.1.3 金属材料的韧性	66
2.1.4 金属材料的韧化	69
2.1.5 金属材料强韧化的组织结构因素与技术途径	72

Contents

2.2	变形过程中材料的组织变化及组织细化	75
2.2.1	冷变形后材料的组织变化	75
2.2.2	热变形过程中金属组织结构的变化	90
2.2.3	深度塑性变形细化晶粒	96
2.3	变形过程中微合金元素的溶解和析出	103
2.3.1	微量元素的溶解、析出规律——微合金化的原理	103
2.3.2	成分及微量合金元素的作用	104
2.3.3	微合金元素在热加工过程中的溶解	106
2.3.4	控制轧制过程中微量元素碳氮化物的析出	108
2.4	变形力学方程	119
2.4.1	静力方程与几何方程	119
2.4.2	屈服准则	120
2.4.3	等效应力、等效应变和等效应变速率方程	121
2.4.4	变形抗力模型	122
2.4.5	本构关系	123
2.5	塑性变分原理	132
2.5.1	材料成形力学边值问题的提法	132
2.5.2	虚功(率)原理	135
2.5.3	刚-塑性材料的变分原理	141
2.5.4	刚-粘塑性材料变分原理	146
2.5.5	弹-塑性硬化材料的变分原理	148
2.5.6	单位体积塑性变形功率	150
2.6	工程法和能量法	151
2.6.1	工程法	151
2.6.2	能量法	153
2.7	塑性成形过程的模拟分析方法	169
2.7.1	塑性成形模拟方法概述	170
2.7.2	刚-塑性有限元法求解轧制问题的途径	171
2.7.3	刚-塑性有限元的基本公式	175
2.7.4	有限元模拟分析软件	184
	参考文献	184

第3章 金属的焊接

/187

3.1	焊接冶金反应与凝固组织	187
3.1.1	焊接化学冶金过程的特点	187

3.1.2	熔池凝固	201
3.2	焊缝金属的固态转变及强韧化	211
3.2.1	焊缝金属冷却时的相变	211
3.2.2	焊缝金属的强韧化	217
3.3	焊缝金属与母材的匹配	225
3.3.1	焊接接头韧性评价指标	226
3.3.2	焊缝与母材的匹配关系	228
3.4	焊接热影响区组织转变及其性能变化	232
3.4.1	焊接热循环与焊接热影响区	232
3.4.2	焊接热循环中热影响区组织转变特点	233
3.4.3	焊接热影响区的组成	234
3.4.4	焊接热影响区的硬度分布	236
3.4.5	焊接热影响区的力学性能变化	237
3.4.6	焊接热影响区的脆化	238
3.4.7	焊接热影响区的软化	240
3.5	金属焊接性及其实验方法	242
3.5.1	金属焊接性的定义及其影响因素	242
3.5.2	焊接性试验及其分类	243
3.5.3	常用焊接性直接试验方法	244
3.5.4	常用焊接性间接试验方法	249
3.6	焊接热过程的数值模拟	252
3.6.1	研究历程及发展现状	252
3.6.2	传热基础	254
3.6.3	典型焊接热源模型	257
3.6.4	焊接温度场模拟实例	261
	参考文献	279

第4章 现代金属凝固技术 /281

4.1	定向凝固技术	281
4.1.1	定向凝固技术的控制基础	281
4.1.2	间歇式定向凝固工艺	282
4.1.3	连续式定向凝固工艺	293
4.1.4	定向凝固技术的应用	296
4.2	压力下金属的结晶技术	299
4.2.1	压力对金属熔点的影响	299

4.2.2	压力对金属其他物性参数的影响	301
4.2.3	压力对金属状态图的影响	302
4.2.4	压力对金属结晶参数的影响	305
4.2.5	压力对金属或合金结晶组织的影响	310
4.2.6	压力对金属或合金气体析出的影响	312
4.2.7	压力结晶技术的应用	315
4.3	快速凝固技术	317
4.3.1	概述	317
4.3.2	快速凝固实现的条件	320
4.3.3	线材快速凝固成形	322
4.3.4	带材快速凝固成形	328
4.3.5	体材料快速凝固成形	336
4.4	半固态金属成形技术	344
4.4.1	半固态金属浆料或坯料的制备工艺	344
4.4.2	半固态金属的触变成形	349
4.4.3	半固态金属的流变成形	353
4.4.4	半固态金属成形的优势与应用	357
4.5	复合连续铸造技术	359
4.5.1	水平电磁法复合钢坯连铸工艺	359
4.5.2	包覆层连续铸造工艺	360
4.5.3	电渣外层金属液连铸工艺	362
4.5.4	反向凝固连铸工艺	363
4.5.5	复合线材的铸拉工艺	364
4.5.6	梯度材料的连续铸造制备工艺	364
4.5.7	双结晶器连铸双金属工艺	365
4.5.8	充芯连铸法连铸工艺	367
4.6	钢的连续铸造技术	369
4.6.1	凝固与传热	369
4.6.2	连铸设备与连铸工艺控制	375
4.6.3	铸坯质量控制技术	378
	参考文献	379

第5章 现代金属塑性成形技术 /383

5.1	超塑性成形技术	383
5.1.1	超塑性成形的特点及适用范围	383

5.1.2	超塑性现象	387
5.1.3	微细晶粒超塑性材料的制备	390
5.1.4	超塑性成形工艺	395
5.1.5	超塑性成形产品缺陷及预防措施	402
5.2	粉末塑性成形技术	404
5.2.1	粉末锻造的特点及适用范围	404
5.2.2	粉末锻造时原料粉末的选择	407
5.2.3	预成形坯的设计与制备	410
5.2.4	粉末塑性变形与致密	415
5.2.5	粉末锻造技术	423
5.3	塑性加工复合技术	426
5.3.1	概述	426
5.3.2	轧制复合钢板的制造	427
5.3.3	真空轧制复合板	440
5.3.4	利用液相结合原理制备钛合金轧制复合板	444
5.3.5	展望	446
5.4	复合材料成形技术	447
5.4.1	金属基复合材料	447
5.4.2	金属基复合材料的制备与制坯工艺	448
5.4.3	热压扩散成形法	448
5.4.4	金属基复合材料坯料的热挤压成形	450
5.4.5	热挤压模具结构	451
5.5	控制轧制与控制冷却技术	453
5.5.1	控制轧制与控制冷却技术概述	454
5.5.2	控制轧制与控制冷却的发展历程	456
5.5.3	控制轧制-控制冷却的理论基础	457
5.5.4	控制轧制-控制冷却工艺的研究实例	460
5.6	高能率成形技术	468
5.6.1	概述	468
5.6.2	爆炸成形	469
5.6.3	电液成形	471
5.6.4	电磁成形	473
	参考文献	476

第6章 现代金属连接技术 /477

6.1	现代金属材料的连接技术	477
-----	-------------------	-----

6.1.1	传统电弧焊及其局限性	477
6.1.2	固相扩散焊	478
6.1.3	过渡液相扩散焊技术	487
6.1.4	激光焊	489
6.2	功能材料的连接技术	496
6.2.1	形状记忆合金的连接技术	496
6.2.2	超导材料的连接技术	502
6.3	复合材料的连接技术	510
6.3.1	金属基复合材料	510
6.3.2	铝基复合材料的焊接性及焊接方法	516
6.4	陶瓷材料的连接技术	524
6.4.1	陶瓷材料成分、组织、性能及制备概述	524
6.4.2	陶瓷材料的焊接性分析	528
6.4.3	陶瓷材料的活性钎焊	533
6.4.4	固相扩散焊	539
6.4.5	部分过渡液相扩散焊技术	541
6.4.6	陶瓷材料焊接界面的结构与接合实质	545
6.5	计算机辅助焊接技术	545
6.5.1	焊接专家系统研究	545
6.5.2	焊接工艺评定专家系统	550
6.5.3	焊接生产网络化和智能化	556
	参考文献	559

第 1 章

金属的凝固

一般物质的凝固过程就是液体在冷却过程中转变为晶态固体的过程。凝固是一种很普遍的自然现象,如冬天水的结冰、冬天窗户玻璃上的冰花、较低温度下冰醋酸的冷凝、火山喷射熔岩的冷凝等都是某种凝固现象。

金属的凝固则是:在冷却过程中,金属熔体由液态转变为晶态固体的过程。

金属凝固也是很普遍的人为的自然现象,如钢锭的冷凝、铸件的冷凝、连续铸造、高温合金的定向结晶、金属焊缝的冷凝都与凝固密切相关。因此,金属凝固过程在冶金生产、铸件生产、金属的连接和材料研制中具有十分重要的作用。

本章将论述金属凝固的热力学和动力学条件、单相合金的凝固、多相合金的凝固的基本原理。

1.1 凝固的热力学

1.1.1 凝固的热力学条件

当一个液态金属体系向晶态固体金属转变时,该体系的吉布斯自由能将会发生变化,而且该体系必须具有足够的凝固驱动力,凝固才可能发生。以纯金属或单一熔点合金为例,若从金属液中形成晶态固体时,单位体积的吉布斯自由能变化应该满足下式:

$$\Delta G_V = G_S - G_L = (H_S - H_L) - T(S_S - S_L) = \Delta H - T\Delta S \quad (1-1)$$

式中, ΔG_V 为单位体积金属的固液自由能差; G_S 为单位体积金属的固相自由能; G_L 为单位体积金属的液相自由能; H_S 为单位体积金属的固相热焓; H_L 为单位体积金属的液相热焓; S_S 为单位体积金属的固相熵; S_L 为单位体积金属的液相熵; T 为金属熔体的绝对温度。

如果忽略 H 、 S 随金属熔体温度而发生的变化,同时假设纯金属或单一熔点合金的晶态