

The Technical Development of
Ferro-metallurgy and Material Processing

钢铁冶金及材料制备 新技术

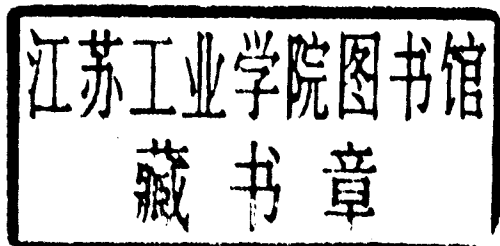
- 蒋国昌
- 郑少波
- 张晓兵
- 徐建伦 著

冶金工业出版社

钢铁冶金及材料制备新技术

The Technical Development of Ferro-metallurgy
and Material Processing

蒋国昌 郑少波 张晓兵 徐建伦 著



北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2006

内 容 提 要

本书分3篇。第1篇介绍了钢铁冶金新技术,包括金属矿还原规律、还原技术和钢精炼技术的开发;第2篇介绍了材料制备新技术,包括轴承钢、软磁材料、高速切削钢、帘线钢、高氮钢质量控制方法、粉末锻造和热喷镀技术要点。这两篇是作者实验室研究的成果与心得,也包含与若干企业合作所得到的看法。第3篇介绍了21世纪冶金和材料制备学的发展和对策,包括信息论冶金学、多种物理场综合作用下的冶金和材料制备过程两大发展方向,以及对高校基层学科建设的体会、给企业和高校领导人的建议等。

本书作为冶金和材料制备方面的专著,可为博士生、博士后等青年学子提供研究方法上的经验,企业和高校科研人员、管理人员读后也会有所收获。

图书在版编目(CIP)数据

钢铁冶金及材料制备新技术/蒋国昌等著. —北京:
冶金工业出版社,2006.8

ISBN 7-5024-4006-2

I. 钢… II. 蒋… III. 黑色金属冶金 IV. TF4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 056411 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 刘小峰 美术编辑 王耀忠

责任校对 侯 璐 李文彦 责任印制 丁小晶

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2006年8月第1版,2006年8月第1次印刷

880mm×1230mm A5;8.125印张;4插页;248千字;251页;1-3000册

28.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



蒋国昌 1960年9月毕业于北京钢铁学院，此后在上海交通大学和上海大学从事教学和科研工作至今。1990年晋升教授，

1995年任上海市钢铁冶金重点实验室主任，博士点、博士后站和市高校重点学科负责人。长期致力于冶金物化、钢铁冶炼、材料制备、高温熔体结构及物性等的研究。发表论文200余篇，出版专著《纯净钢及二次精炼》。



郑少波 1982年获东北工学院钢铁冶金系学士学位，1985年获北京钢铁学院冶金系硕士学位，1998年获东北大学材料学院博士学位。

1998~2001年在上海大学钢铁冶金学科博士后站从事研究工作，出站后留校工作。现为国家自然科学基金重点项目“钢中超细夹杂物的形成机理和作用机理”等课题负责人。主要研究方向为冶金工艺和先进材料制备技术等。参加高炉长寿、直接还原和熔融还原、铁水预处理、冶金过程控制模型、钢中夹杂物控制等20余项国际、国家、地方和企业的科研项目；发表论文30余篇。



张晓兵 1982年
获上海工业大学
冶金系学士学位，1987年
获上海工业大学
硕士学位，
1996年获上海
大学材料学院
钢铁冶金学科

博士学位。1997年任上海大学教授。
1997~2002年在加拿大McMaster大
学博士后站从事研究工作，任高级研
究员。2002~2004年被聘为宝钢集团
不锈钢分公司专家。主要研究方向为
特殊钢冶炼工艺、熔融还原、冶金过
程控制、冶金熔体热力学计算软件开
发及应用等。曾获上海市与江苏省科
技进步奖5项；发表论文40余篇。



徐建伦 1956
年在北京钢铁
学院钢铁冶金
系本科毕业，
1963年获苏联
列宁格勒工业
学院副博士学
位。上海大学
教授。主要研

究方向为冶金资源综合利用、含铁原
料的还原理论、直接还原与熔融还
原、氧化物直接合金化、易切削含铌
不锈钢、冶金过程控制——高炉专家
系统及人工神经网络等。曾获湖南省
及上海市科技进步奖2项；被授予中
国发明专利与新型实用专利2项；发
表论文84篇，译作1部。

自 序

本书记述了我们长期在徐匡迪院士领导下积累下来的研究工作。全书分3篇。第1篇是徐建伦教授、郑少波副教授和我合作完成的。此篇介绍了金属矿还原过程的规律、技术开发和钢的精炼技术。第2篇讨论了若干钢种的质量控制方法、粉末锻造和热喷镀技术要点。此篇由张晓兵博士、郑少波副教授和我合作完成。这些基础研究和实验探索的成果为企业界提供了某种技术储备的雏形,中试和工业试验必须由企业主持。在冶金和材料制备领域中我国已是一个大国,但不是强国。能否成为强国就看有没有自主开发的成套技术对外输出。企业界若不意识到这个根本问题,我们必将永远落后。第3篇是展望,归纳为两个重大研究方向。此篇中还包括企业和高校应采取的对策。

作者写此书的动机更在于以这些基础研究和实验探索为例,向刚踏进冶金和材料制备领域研究殿堂的青年学子介绍怎样开题,怎样确定方针和思路,怎样设计研究进程,怎样选择实验和理论分析的方法等。作为在高校讲台上站了45年的老教育工作者,这是我最愿尽力去做好的事。第3篇的后半部分是40余年来我们在组织科研工作方面的深切体会。它正是弱者争取突破之对策,也是向企业和高校管理人员提出的建议。

II 自序

但愿本书能为祖国的繁荣昌盛做出一份贡献。

本书涉及的研究工作是在上海市科委和教委的大力资助下完成的,其间与宝钢等企业有过愉快的合作。本书在出版过程中得到了冶金工业出版社和北京科技大学王筱留教授的大力支持。作者特向他们表示深深的感谢!

蒋国昌

2005年12月于上海



图2.10 在还原不足的情况下,用光学显微镜看到的团块的矿相照片 I



图2.11 在还原不足的情况下,用光学显微镜看到的团块的矿相照片 II

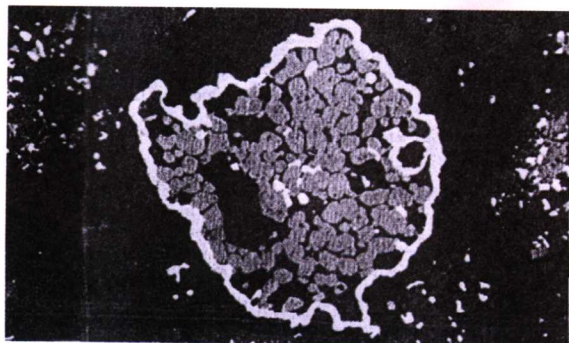


图 2.12 在强还原条件下,金属析出相的集聚及残余氧化物相变成“葡萄球”的情况

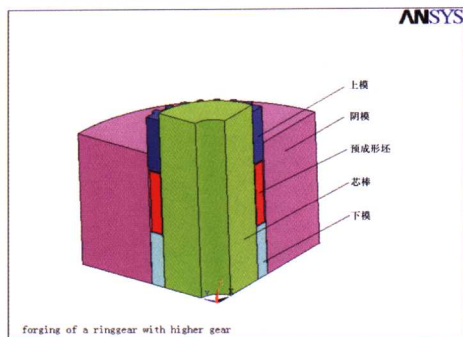


图 10.3 齿环锻造模具装配图

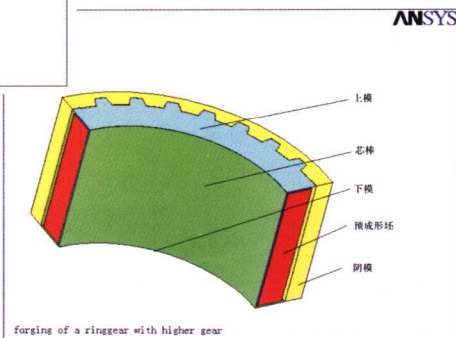


图 10.4 简化后的有限元模型

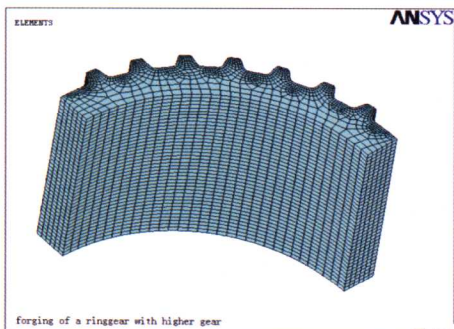


图 10.5 预成形坯网格模型

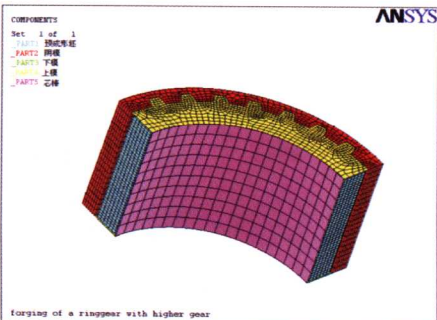


图 10.6 有限元网格模型

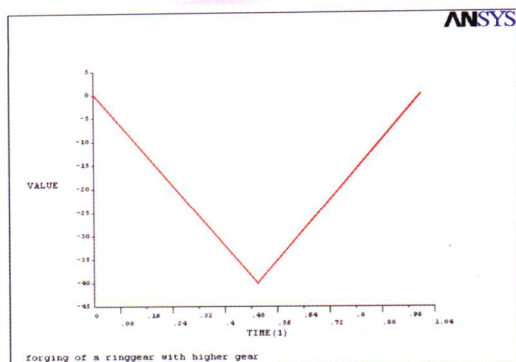


图 10.7 速度载荷

FORGING OF A RINGGEAR WITH LOWER GEAR
Time = 0.51999



图 10.8 低齿预成形坯锻后形状

FORGING OF A RINGGEAR WITH HIGHER GEAR
Time = 0.42



图 10.9 高齿预成形坯锻后形状图

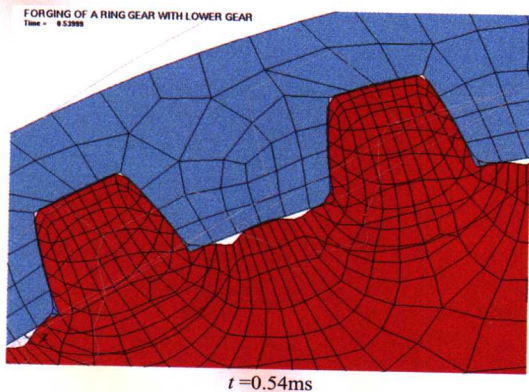
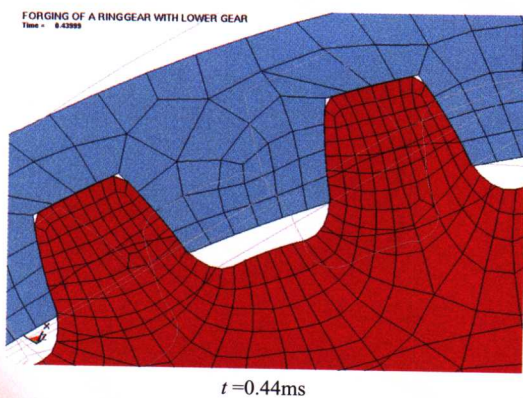
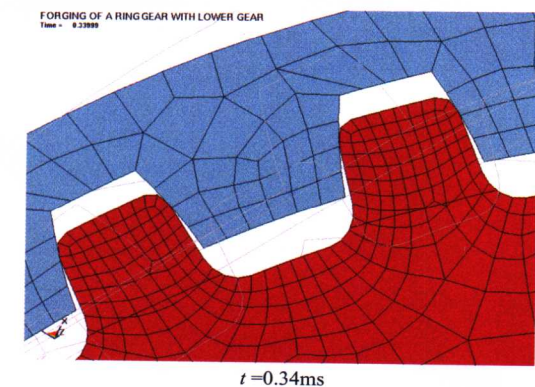
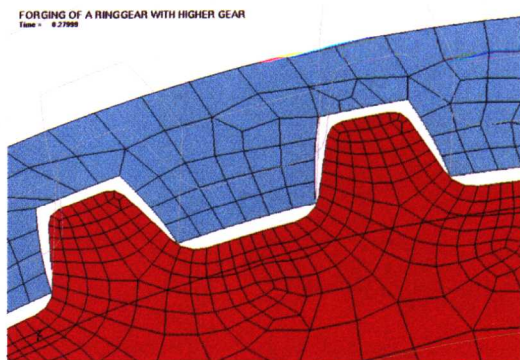
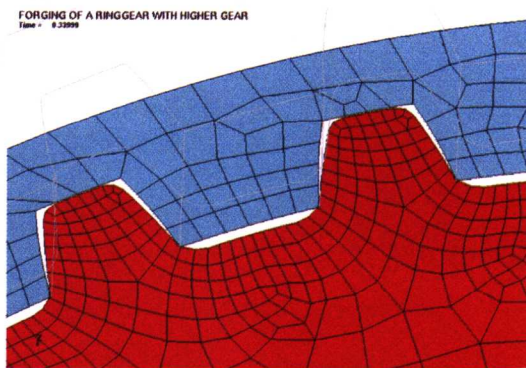


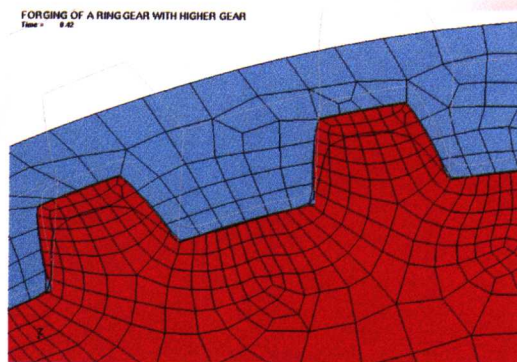
图10.10 不同时刻低齿坯某截面($h=28.50\text{mm}$)的金属流动



$t = 0.28\text{ms}$



$t = 0.34\text{ms}$



$t = 0.42\text{ms}$

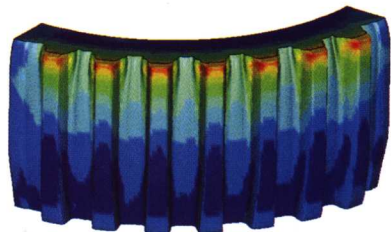
图10.11 不同时刻高齿坯某截面($h=28.50\text{mm}$)的金属流动

FORGING OF A RING GEAR WITH LOWER GEAR

Time = 8.51989
Contours of Effective Plastic Strain
min=0.000000, at element 25216
max=2.17594, at element 35341

Fringe Levels

2.175e+000
1.967e+000
1.747e+000
1.532e+000
1.318e+000
1.103e+000
8.886e-001
6.740e-001
4.594e-001
2.449e-001
3.829e-002



x y z

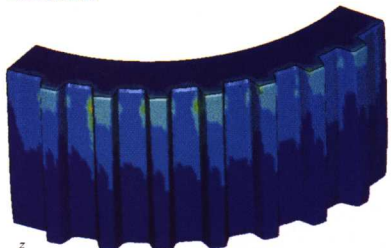
低齿坯

FORGING OF A RING GEAR WITH HIGHER GEAR

Time = 8.62
Contours of Effective Plastic Strain
min=0.000000, at element 1338
max=2.86863, at element 8375

Fringe Levels

2.868e+000
2.580e+000
2.318e+000
2.070e+000
1.750e+000
1.471e+000
1.191e+000
9.118e-001
6.323e-001
3.527e-001
7.320e-002



x y z

高齿坯

图 10.12 等效塑性应变

FORGING OF A RING GEAR WITH LOWER GEAR

Time = 8.51989
Contours of Effective Stress (v-mg)
min=0.138072, at element 18264
max=8.354422, at element 32298

Fringe Levels

3.155e-001
2.978e-001
2.785e-001
2.600e-001
2.416e-001
2.231e-001
2.046e-001
1.861e-001
1.676e-001
1.492e-001
1.307e-001



x y z

低齿坯

FORGING OF A RING GEAR WITH HIGHER GEAR

Time = 8.62
Contours of Effective Stress (v-mg)
min=0.86171, at element 2685
max=6.387953, at element 7818

Fringe Levels

3.071e-001
2.817e-001
2.553e-001
2.295e-001
2.036e-001
1.777e-001
1.518e-001
1.258e-001
1.001e-001
7.424e-002
4.837e-002



x y z

高齿坯

图 10.13 等效(von Mises)应力

FORGING OF A RING GEAR WITH LOWER GEAR

Time = 0.51999
Centroids of V-displacement
min = 8.87193e-001, at node 1637
max = 1.8834e-001, at node 11746

Fringe Levels

2.8834e-000
2.670e-000
1.730e-000
1.405e-000
1.073e-000
7.404e-001
4.073e-001
7.545e-002
-2.570e-002
-5.095e-003
-9.219e-004



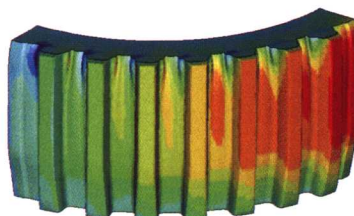
x 方向位移

FORGING OF A RING GEAR WITH LOWER GEAR

Time = 0.51999
Centroids of V-displacement
min = 1.81710e-002, at node 4392
max = 7.45235e-003, at node 1371

Fringe Levels

2.4235e-000
2.001e-000
1.717e-000
1.392e-000
1.046e-000
7.041e-001
3.598e-001
1.059e-002
-3.207e-003
-6.723e-004
-1.017e-000



y 方向位移

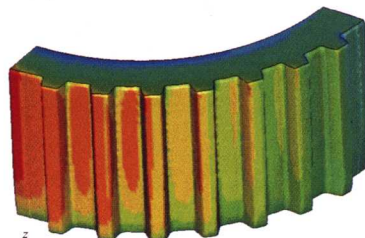
图 10.14 低齿坯在 x、y 方向位移

FORGING OF A RING GEAR WITH HIGHER GEAR

Time = 0.42
Centroids of V-displacement
min = 0.002615, at node 11 000
max = 7.19346e-001, at node 13865

Fringe Levels

1.1301e-000
9.0024e-001
6.163e-001
6.467e-001
4.744e-001
3.0327e-001
1.3119e-001
-3.3532e-002
-2.1106e-003
-3.018e-004
-5.5311e-004



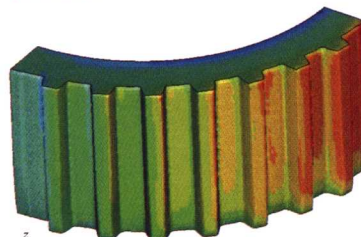
x 方向位移

FORGING OF A RING GEAR WITH HIGHER GEAR

Time = 0.42
Centroids of V-displacement
min = 0.002473, at node 1206
max = 1.0002, at node 13813

Fringe Levels

1.1311e-000
9.8023e-001
6.1400e-001
6.467e-001
4.774e-001
3.0011e-001
1.4071e-001
-2.7566e-002
-1.5506e-003
-3.642e-004
-5.3025e-004



y 方向位移

图 10.15 高齿坯在 x、y 方向位移

POWDER FORGING OF A RING GEAR WITH HIGHER GEAR

Time = 8.6
Contours of Effective Stress (v-m)
min=0.271189, at element 28861
max=0.362589, at element 22983

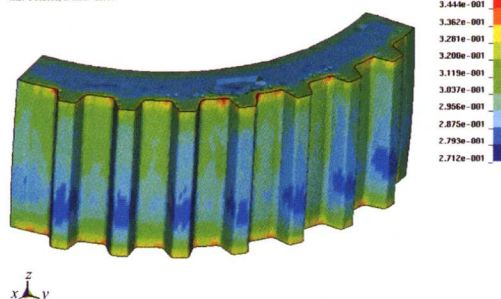


图 10.16 高齿坯等效应力(von Mises)分布

POWDER FORGING OF A RING GEAR WITH HIGHER GEAR

Time = 8.6
Contours of Effective Plastic Strain
min=0.000000, at element 28861
max=0.387129, at element 22983

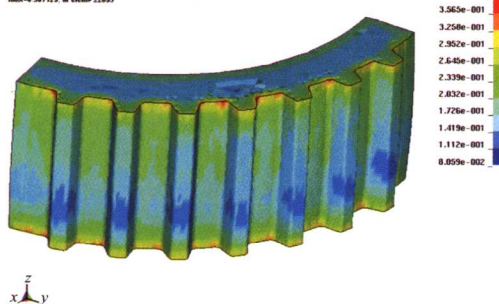


图 10.17 高齿坯等效塑性应变分布

POWDER FORGING OF A RING GEAR WITH HIGHER GEAR

Time = 8.6
Contours of History Variable n2
min=0.91764, at element 28827
max=0.935575, at element 27874

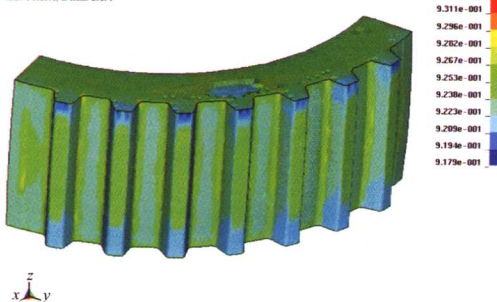


图 10.18 粉末齿环锻造的高齿坯密度分布

目 录

第 1 篇 钢铁冶金新技术

1 新型多功能熔化还原竖炉和工频无铁芯短感应器保温炉	1
1.1 新型多功能熔化还原竖炉	1
1.2 工频无铁芯短感应器保温炉	11
2 铁、锰、铬矿还原过程的规律	19
2.1 铁矿石的还原动力学	19
2.2 含碳锰矿团块的固态还原	33
2.3 渣中 MnO 被溶于铁水的碳还原的动力学	43
2.4 铬铁矿的熔融还原	56
3 炉外精炼技术	70
3.1 不锈钢脱磷	70
3.2 氧气加压反应器中钢水的脱碳	80
3.3 钢包炉精炼过程中的还原性泡沫渣	87
3.4 感应钢包炉的电磁特性与结构优化	101

第 2 篇 材料制备技术

4 轴承钢冶炼技术分析	107
4.1 氧化物夹杂问题	107
4.2 氮化物夹杂问题	117
4.3 硫化物夹杂问题	119
5 软磁材料	131
5.1 铁芯损耗的影响因素	132
5.2 取向硅钢	134
5.3 覆盖剂研究	143

5.4 通用型高性能软磁材料集成块	146
6 结构钢中的夹杂物工程	148
6.1 硫系易切削钢和管线钢中的硫化物夹杂	148
6.2 帘线钢	149
6.3 用于高速切削的易切削钢	151
7 铌系易切削不锈钢	155
7.1 技术开发	155
7.2 基础研究	156
8 用粉末锻造技术制备高氮结构钢和不锈钢的探索	161
8.1 高氮结构钢的制备及其组织性能的研究	163
8.2 高氮奥氏体不锈钢的制备及其组织性能研究	186
9 超强零部件粉末锻造技术的探索	189
9.1 准备工作和预试验	189
9.2 烧结圆环的开式热锻综合试验	192
9.3 预成形坯的设计	197
9.4 齿环样品的热锻	199
10 汽车用齿环粉末锻造的数值模拟	202
10.1 粉末成形理论	202
10.2 动力显式有限元分析方法	206
10.3 齿环三维锻造数值模拟	209
11 等离子喷镀过程的分析和优化	223
11.1 混合粉的等离子喷镀技术	223
11.2 铝及铝合金工件上基层的等离子喷镀 技术优化	229
 第3篇 21世纪冶金和材料制备学的发展及对策	
12 两大发展方向	233
12.1 信息论冶金学	233
12.2 多种物理场综合作用下的冶金和材料 制备过程	235
13 对策	241