

粉末冶金技术手册

韩凤麟 马福康 曹勇家 主编

FENMO
YEJIN
JISHU
SHOUCE



化学工业出版社



韩凤麟

教授

中机协粉末冶金分会教授
国务院特殊津贴专家



马福康

教授

俄罗斯科学院及工程院院士
北京有色金属研究总院原院长



曹勇家

教授

钢铁研究总院教授
中国金属学会理事
国务院特殊津贴专家

- 涵盖金属粉末生产与特性、金属粉末性能测试与相应标准、成形与固结、后续加工与质量控制、粉末冶金材料、粉末冶金材料应用与新发展等内容。
- 总结了粉末冶金领域的科研成果及成熟的实践经验，反映当代世界粉末冶金材料工程技术的最新进展。
- 由韩凤麟、曹勇家、马福康主编，46位专家教授精心编写而成。
- 主要供从事粉末冶金、金属材料、机械制造、汽车制造、家电、农机、航天航空、电工与电子技术、核工业及武器制造等领域的技术与管理人员使用，也可供研发人员、高等院校相关专业师生参考。

ISBN 978-7-122-05327-5



9 787122 053275 >

销售分类建议：工业技术

定价：210.00元



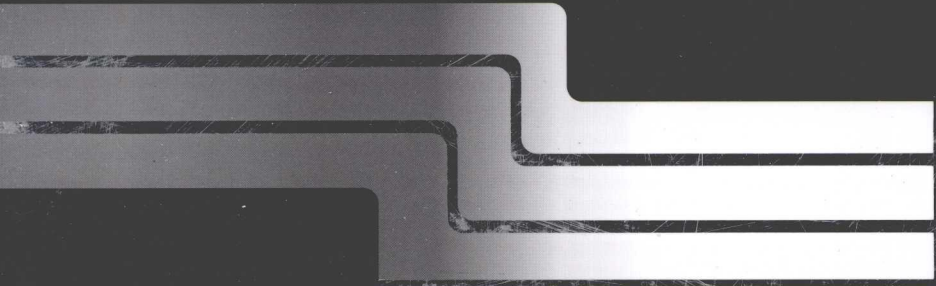
粉末冶金技术手册

韩凤麟 马建康 唐秀家 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·



粉末冶金技术手册

韩凤麟 马福康 曹勇家 主编

FENMO
YEJIN
JISHU
SHOUCE



化学工业出版社



韩凤麟

教授

中机协粉末冶金分会教授
国务院特殊津贴专家



马福康

教授

俄罗斯科学院及工程院院士
北京有色金属研究总院原院长



曹勇家

教授

钢铁研究总院教授
中国金属学会理事
国务院特殊津贴专家

- 涵盖金属粉末生产与特性、金属粉末性能测试与相应标准、成形与固结、后续加工与质量控制、粉末冶金材料、粉末冶金材料应用与新发展等内容。
- 总结了粉末冶金领域的科研成果及成熟的实践经验，反映当代世界粉末冶金材料工程技术的最新进展。
- 由韩凤麟、曹勇家、马福康主编，46位专家教授精心编写而成。
- 主要供从事粉末冶金、金属材料、机械制造、汽车制造、家电、农机、航天航空、电工与电子技术、核工业及武器制造等领域的技术与管理人员使用，也可供研发人员、高等院校相关专业师生参考。

ISBN 978-7-122-05327-5



9 787122 053275 >

销售分类建议：工业技术

定价：210.00元

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

前言

粉末冶金既是制造高新材料的重要工艺，有时还是唯一的方法，同时也是多、快、好、省地制造形状复杂、高精度金属零件的先进金属成形技术。因此，粉末冶金产业相继开发了三大领域，一为难熔金属与硬质合金工具材料，二为永磁材料，特别是稀土永磁材料。这两大类材料基本上都只能用粉末冶金工艺生产。第三大领域是将材料制造与金属成形相结合，逐渐形成的特种金属成形技术。

本书内容主要包括概论、金属粉末生产与特性、金属粉末性能测试与相应标准、成形与固结、后续加工与质量控制、粉末冶金材料、粉末冶金材料应用与新发展等7篇，共约300万字。

参加本书编写的有北京科技大学、钢铁研究总院、北京有色金属研究总院、北京航空材料研究院、北京市粉末冶金研究所、哈尔滨工业大学、西北有色金属研究院、中南大学、华中科技大学、华南理工大学、北京工业大学、台湾大学、杭州粉末冶金研究所、北京安泰科技公司、株洲硬质合金集团公司、嘉兴中达自润轴承公司、中国机械通用零部件工业协会粉末冶金分会等单位的专家教授共四十多名。最后由韩凤麟、马福康、曹勇家进行统稿。

各篇主编如下。

第1篇	概论	韩凤麟教授
第2篇	金属粉末生产与特性	韩凤麟教授 夏志华教授
第3篇	金属粉末性能测试与相应标准	张晋远教授
第4篇	成形与固结	果世驹教授
第5篇	后续加工与质量控制	贾成厂教授 韩凤麟教授
第6篇	粉末冶金材料	曹勇家教授 马福康教授 易建宏教授 汪武祥教授
第7篇	粉末冶金材料应用与新发展	王尔德教授 韩凤麟教授

本书遵循“科学性、先进性及实用性”的精神，认真总结粉末冶金领域里的科研成果，以及成熟的实践经验，还详细介绍了ISO粉末冶金技术标准，并注重吸收国外先进实用的科研成果，力求反映当代世界粉末冶金材料工程技术的最新进展。

本书主要供从事粉末冶金、金属材料、机械制造、汽车制造、家电、农机、航天航空、电工与电子技术、核工业及武器制造等领域的技术与管理人员使用，也可供科研人员、理工院校的有关师生参考。

在本书即将出版之际，对一直关心、支持并指导本书编写的黄培云院士和有关单位与个人致以衷心的感谢。由于编写时间紧迫与编者水平有限，书中不当之处，敬请读者指正，并提出宝贵意见。

韩凤麟 马福康 曹勇家

编辑委员会^①

顾问：师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇 栾恩杰
王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镛

主任：路甬祥

副主任：李成功（常务） 钟群鹏 干 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国
潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划：宋天虎 黄远东

总编辑：李骏带

秘书长：黄远东（兼）

委员（按姓氏笔画排列）：

丁 辛	丁传贤	干 勇	于月光	才鸿年	马世宁	马冲先	马济民	马眷荣
马福康	王占国	王务同	王尔德	王永岩	王亚军	王至尧	王克光	王克俭
王高潮	王淀佐	王琦安	王新林	王德志	方禹之	尹志民	邓 炬	左铁钊
左铁镛	石力开	石春山	卢世刚	叶小玲	叶光斗	田志凌	田荣璋	史耀武
冯 涤	冯 稷	冯春祥	宁远涛	邢建东	师昌绪	吕 炎	吕反修	同继锋
曲文生	朱万森	朱如瑾	朱绍华	朱道本	仲维卓	任家烈	华 林	刘 明
刘正才	刘世参	刘占阳	刘邦津	刘作信	刘其贤	刘郁丽	刘治国	刘建章
刘晋春	刘清友	刘献明	齐从谦	闫 洪	江东亮	许祖泽	许祖彦	阳明书
孙 坚	孙加林	杜善义	杨 合	杨 武	杨乃宾	杨才福	杨鸣波	杨忠民
杨晓华	杨海波	杨焕文	杨德仁	李 强	李 晋	李 楠	李长久	李龙土
李成功	李光福	李志刚	李明哲	李明辉	李学勇	李虹霞	李恒德	李贺军
李海军	李骏带	李鹤林	严东生	连克仁	肖亚庆	吴 行	吴 昆	吴 诚
吴永声	吴伟仁	吴性良	吴科如	吴恩熙	吴谊群	吴智华	吴德馨	何光远
何季麟	佟晓辉	邱 勇	邱冠周	邱德仁	余金中	邹广田	汪明朴	沈 真
沈万慈	沈德忠	宋天虎	张 力	张 扬	张 华	张 杰	张 金	张 峥
张子龙	张用宾	张立同	张永俐	张吉龙	张旭初	张佐光	张晋远	张康侯
张道中	张新民	陆燕荪	陈 琦	陈文哲	陈世朴	陈立泉	陈运远	陈志良
陈国钧	陈治明	陈南宁	陈祝年	陈晓慈	陈涌海	陈祥宝	陈超志	林慧国
欧阳世翥	卓尚军	易建宏	罗祥林	罗豪甦	果世驹	周 廉	周伟斌	周国庆
郑有焯	柳玉起	柳百成	胡玉亭	胡正寰	南策文	赵万生	赵有文	赵国群
赵金榜	赵梓森	赵慕岳	钟群鹏	施东成	施剑林	姜不居	姜晚霞	祖荣祥
姚 燕	贺守华	耿 林	聂大钧	贾成厂	顾冬红	夏巨湛	夏志华	俸培宗
徐匡迪	徐廷献	徐建军	徐祖耀	徐家文	徐跃明	徐滨士	殷树言	翁宇庆
郭会光	郭景杰	高瑞萍	栾恩杰	唐仁政	唐汝钧	唐志玉	唐昌世	益小苏
涂善东	黄 勇	黄天佑	黄玉东	黄本立	黄远东	黄伯云	黄校先	黄培云
曹勇家	曹湘洪	龚七一	崔 健	康喜范	梁 齐	梁 军	梁志杰	屠海令
隋同波	韩凤麟	彭艳萍	葛子干	董 瀚	董汉山	董首山	董祖珏	董湘怀
蒋力培	蒋建平	傅绍云	储君浩	谢邦互	谢里阳	谢建新	鄢国强	雷天民
路甬祥	解应龙	解思深	雍歧龙	蔡中义	漆 玄	谭 抚	熊守美	靳常青
樊东黎	黎文献	颜永年	颜鸣皋	潘正安	潘叶金	潘振甦	潘健生	燕 珙
戴国强								

① 本书是原《中国材料工程大典》其中的一卷。《中国材料工程大典》由中国机械工程学会、中国材料研究学会组织编写，中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会及中国复合材料学会参加组织编写。本编辑委员会即为《中国材料工程大典》编委会。

《粉末冶金技术手册》是粉末冶金领域的全面的专业工具书。全书系统介绍了金属粉末原料的生产与特性、性能测试与相应标准，粉末冶金成形和固结工艺，粉末冶金后续加工与质量控制等内容；详细阐述了铁基、非铁金属基粉末冶金材料，粉末冶金不锈钢与工具钢，难熔金属与硬质合金等粉末冶金材料的性能、相关标准及测试方法；指明了粉末冶金轴承和结构零件、粉末冶金摩擦材料和多孔性金属材料以及纳米材料与机械合金化、喷射成形技术等的应用和新发展。本书总结了粉末冶金领域里的科研成果，以及成熟的实践经验，介绍 ISO 粉末冶金技术标准，并注重吸收国外先进实用的科研成果，反映了粉末冶金这种高新材料重要制造工艺和先进金属成形技术的最新进展。

本书可供从事粉末冶金、金属材料、机械制造、汽车制造以及家电、电工与电子技术等领域的技术与管理人员使用，也可供科研人员、理工院校的有关师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

粉末冶金技术手册/韩凤麟，马福康，曹勇家主编.
北京：化学工业出版社，2009.6
ISBN 978-7-122-05327-5

I. 粉… II. ①韩…②马…③曹… III. 粉末冶金-技术手册 IV. TF12-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057701 号

责任编辑：周国庆 段志兵
责任校对：陶燕华

装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印刷：北京蓝海印刷有限公司

装订：三河市前程装订厂

880mm×1230mm 1/16 印张 67¼ 字数 3150 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：210.00 元

版权所有 违者必究

《粉末冶金技术手册》是粉末冶金领域的全面的专业工具书。全书系统介绍了金属粉末原料的生产与特性、性能测试与相应标准，粉末冶金成形和固结工艺，粉末冶金后续加工与质量控制等内容；详细阐述了铁基、非铁金属基粉末冶金材料，粉末冶金不锈钢与工具钢，难熔金属与硬质合金等粉末冶金材料的性能、相关标准及测试方法；指明了粉末冶金轴承和结构零件、粉末冶金摩擦材料和多孔性金属材料以及纳米材料与机械合金化、喷射成形技术等的应用和新发展。本书总结了粉末冶金领域里的科研成果，以及成熟的实践经验，介绍 ISO 粉末冶金技术标准，并注重吸收国外先进实用的科研成果，反映了粉末冶金这种高新材料重要制造工艺和先进金属成形技术的最新进展。

本书可供从事粉末冶金、金属材料、机械制造、汽车制造以及家电、电工与电子技术等领域的技术与管理人员使用，也可供科研人员、理工院校的有关师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

粉末冶金技术手册/韩凤麟，马福康，曹勇家主编.
北京：化学工业出版社，2009.6
ISBN 978-7-122-05327-5

I. 粉… II. ①韩…②马…③曹… III. 粉末冶金-技术手册 IV. TF12-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 057701 号

责任编辑：周国庆 段志兵
责任校对：陶燕华

装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 刷：北京蓝海印刷有限公司

装 订：三河市前程装订厂

880mm×1230mm 1/16 印张 67 $\frac{3}{4}$ 字数 3150 千字 2009 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：210.00 元

版权所有 违者必究

前言

粉末冶金既是制造高新材料的重要工艺，有时还是唯一的方法，同时也是多、快、好、省地制造形状复杂、高精度金属零件的先进金属成形技术。因此，粉末冶金产业相继开发了三大领域，一为难熔金属与硬质合金工具材料，二为永磁材料，特别是稀土永磁材料。这两大类材料基本上都只能用粉末冶金工艺生产。第三大领域是将材料制造与金属成形相结合，逐渐形成的特种金属成形技术。

本书内容主要包括概论、金属粉末生产与特性、金属粉末性能测试与相应标准、成形与固结、后续加工与质量控制、粉末冶金材料、粉末冶金材料应用与新发展等7篇，共约300万字。

参加本书编写的有北京科技大学、钢铁研究总院、北京有色金属研究总院、北京航空材料研究院、北京市粉末冶金研究所、哈尔滨工业大学、西北有色金属研究院、中南大学、华中科技大学、华南理工大学、北京工业大学、台湾大学、杭州粉末冶金研究所、北京安泰科技公司、株洲硬质合金集团公司、嘉兴中达自润轴承公司、中国机械通用零部件工业协会粉末冶金分会等单位的专家教授共四十多名。最后由韩凤麟、马福康、曹勇家进行统稿。

各篇主编如下。

第1篇	概论	韩凤麟教授
第2篇	金属粉末生产与特性	韩凤麟教授 夏志华教授
第3篇	金属粉末性能测试与相应标准	张晋远教授
第4篇	成形与固结	果世驹教授
第5篇	后续加工与质量控制	贾成厂教授 韩凤麟教授
第6篇	粉末冶金材料	曹勇家教授 马福康教授 易建宏教授 汪武祥教授
第7篇	粉末冶金材料应用与新发展	王尔德教授 韩凤麟教授

本书遵循“科学性、先进性及实用性”的精神，认真总结粉末冶金领域里的科研成果，以及成熟的实践经验，还详细介绍了ISO粉末冶金技术标准，并注重吸收国外先进实用的科研成果，力求反映当代世界粉末冶金材料工程技术的最新进展。

本书主要供从事粉末冶金、金属材料、机械制造、汽车制造、家电、农机、航天航空、电工与电子技术、核工业及武器制造等领域的技术与管理人员使用，也可供科研人员、理工院校的有关师生参考。

在本书即将出版之际，对一直关心、支持并指导本书编写的黄培云院士和有关单位与个人致以衷心的感谢。由于编写时间紧迫与编者水平有限，书中不当之处，敬请读者指正，并提出宝贵意见。

韩凤麟 马福康 曹勇家

编辑委员会^①

顾问：师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇 栾恩杰
王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镛

主任：路甬祥

副主任：李成功（常务） 钟群鹏 干 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国
潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划：宋天虎 黄远东

总编辑：李骏带

秘书长：黄远东（兼）

委员（按姓氏笔画排列）：

丁 辛	丁传贤	干 勇	于月光	才鸿年	马世宁	马冲先	马济民	马眷荣
马福康	王占国	王务同	王尔德	王永岩	王亚军	王至尧	王克光	王克俭
王高潮	王淀佐	王琦安	王新林	王德志	方禹之	尹志民	邓 炬	左铁钊
左铁镛	石力开	石春山	卢世刚	叶小玲	叶光斗	田志凌	田荣璋	史耀武
冯 涤	冯 稷	冯春祥	宁远涛	邢建东	师昌绪	吕 炎	吕反修	同继锋
曲文生	朱万森	朱如瑾	朱绍华	朱道本	仲维卓	任家烈	华 林	刘 明
刘正才	刘世参	刘占阳	刘邦津	刘作信	刘其贤	刘郁丽	刘治国	刘建章
刘晋春	刘清友	刘献明	齐从谦	闫 洪	江东亮	许祖泽	许祖彦	阳明书
孙 坚	孙加林	杜善义	杨 合	杨 武	杨乃宾	杨才福	杨鸣波	杨忠民
杨晓华	杨海波	杨焕文	杨德仁	李 强	李 晋	李 楠	李长久	李龙土
李成功	李光福	李志刚	李明哲	李明辉	李学勇	李虹霞	李恒德	李贺军
李海军	李骏带	李鹤林	严东生	连克仁	肖亚庆	吴 行	吴 昆	吴 诚
吴永声	吴伟仁	吴性良	吴科如	吴恩熙	吴谊群	吴智华	吴德馨	何光远
何季麟	佟晓辉	邱 勇	邱冠周	邱德仁	余金中	邹广田	汪明朴	沈 真
沈万慈	沈德忠	宋天虎	张 力	张 扬	张 华	张 杰	张 金	张 峥
张子龙	张用宾	张立同	张永俐	张吉龙	张旭初	张佐光	张晋远	张康侯
张道中	张新民	陆燕荪	陈 琦	陈文哲	陈世朴	陈立泉	陈运远	陈志良
陈国钧	陈治明	陈南宁	陈祝年	陈晓慈	陈涌海	陈祥宝	陈超志	林慧国
欧阳世翥	卓尚军	易建宏	罗祥林	罗豪甦	果世驹	周 廉	周伟斌	周国庆
郑有焯	柳玉起	柳百成	胡玉亭	胡正寰	南策文	赵万生	赵有文	赵国群
赵金榜	赵梓森	赵慕岳	钟群鹏	施东成	施剑林	姜不居	姜晚霞	祖荣祥
姚 燕	贺守华	耿 林	聂大钧	贾成厂	顾冬红	夏巨湛	夏志华	俸培宗
徐匡迪	徐廷献	徐建军	徐祖耀	徐家文	徐跃明	徐滨士	殷树言	翁宇庆
郭会光	郭景杰	高瑞萍	栾恩杰	唐仁政	唐汝钧	唐志玉	唐昌世	益小苏
涂善东	黄 勇	黄天佑	黄玉东	黄本立	黄远东	黄伯云	黄校先	黄培云
曹勇家	曹湘洪	龚七一	崔 健	康喜范	梁 齐	梁 军	梁志杰	屠海令
隋同波	韩凤麟	彭艳萍	葛子干	董 瀚	董汉山	董首山	董祖珏	董湘怀
蒋力培	蒋建平	傅绍云	储君浩	谢邦互	谢里阳	谢建新	鄢国强	雷天民
路甬祥	解应龙	解思深	雍歧龙	蔡中义	漆 玄	谭 抚	熊守美	靳常青
樊东黎	黎文献	颜永年	颜鸣皋	潘正安	潘叶金	潘振甦	潘健生	燕 珙
戴国强								

^① 本书是原《中国材料工程大典》其中的一卷。《中国材料工程大典》由中国机械工程学会、中国材料研究学会组织编写，中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会及中国复合材料学会参加组织编写。本编辑委员会即为《中国材料工程大典》编委会。

目 录

第1篇 概论	1	5 粉末冶金零件设计准则	43
第1章 粉末冶金发展史	3	5.1 常规模压结构零件设计准则	43
1 古代块炼铁技术——粉末冶金的雏形	4	5.2 烧结金属含油轴承设计准则	44
2 近代粉末冶金的兴起	5	5.3 粉末锻造设计准则	45
3 20世纪——粉末冶金蓬勃发展时期	5	5.4 金属注射成形设计准则	45
3.1 硬质合金	5	第5章 粉末冶金生产工艺模型与设计	47
3.2 机械零件	6	1 粉末成形工艺模型与设计	47
3.3 电触头材料和磁性材料	7	1.1 金属粉末的模压成形	47
4 20世纪中后期开发的粉末冶金技术	8	1.2 金属粉末注射成形	50
4.1 粉末冶金新工艺	8	1.3 热等静压	51
4.2 粉末冶金新材料	9	2 热等静压工艺模型化	52
5 我国粉末冶金发展简况	11	2.1 经验模型	53
第2章 21世纪初粉末冶金世界市场与应用进展	13	2.2 微观模型与机理	53
1 全球粉末冶金行业市场动态	13	2.3 HIP的宏观模型	55
1.1 粉末冶金结构零件	13	2.4 Ashby HIP6.0模型的验证	58
1.2 铜粉和铜基合金粉	14	参考文献	62
1.3 硬质合金	15	第2篇 金属粉末生产与特性	65
1.4 粉末基磁体	16	第1章 雾化法	67
2 北美、欧洲及亚洲/大洋洲地区的粉末冶金市场	17	1 雾化粉末的一般特性	67
2.1 北美的粉末冶金市场	17	1.1 粒度	67
2.2 欧洲的粉末冶金市场	18	1.2 颗粒形状	68
2.3 亚洲与大洋洲的粉末冶金市场	19	1.3 纯度	68
2.4 中国的粉末冶金零件市场	19	1.4 化学组成与显微组织	69
3 粉末冶金应用进展	20	2 水雾化	69
3.1 大批量生产的粉末冶金汽车零件	20	2.1 工艺参数	69
3.2 价格可行的高性能粉末冶金零件	22	2.2 粒度	71
3.3 先进的粉末冶金材料	22	2.3 粒度分布	72
第3章 硬质合金生产工艺的进展	26	2.4 粉末特性	73
1 硬质合金原料粉末制备工艺的进展	26	3 油雾化	74
1.1 铝热还原(碳化)工艺	26	4 气雾化	74
1.2 等离子体还原生产纳米级钨粉	26	4.1 工艺参数	76
2 超细硬质合金投入工业生产	26	4.2 气体雾化模型	76
3 梯度组织硬质合金得到广泛应用	29	4.3 气体雾化粉末	77
3.1 有意造成合金内不同部位的碳含量差异以形成梯度组织	29	4.4 超音速气体雾化和内部混合喷嘴	78
3.2 有意造成合金内不同部位的氮含量差异以形成梯度组织	29	5 离心雾化	79
3.3 真空烧结冷却过程中使WC- β -Co合金压块表面富集 β 相	30	5.1 旋转盘雾化和旋转杯雾化	79
4 表面涂层技术不断发展	30	5.2 旋转电极工艺	80
4.1 通过优化涂层金相组织改善涂层的表面粗糙度	31	5.3 离心雾化的模型	81
4.2 改善基体合金的成分和组织	32	6 其他雾化方法	81
5 成形工艺的进展	33	第2章 化学法与电解法	83
5.1 挤压成形工艺达到相当高的水平	33	1 氧化物还原法	83
5.2 其他成形工艺的进展	33	2 溶液沉淀法	84
6 工艺过程的可控性及自动化程度显著提高	33	3 热离解法	85
第4章 常用粉末冶金工艺与设计	35	4 其他化学方法	85
1 粉末冶金工艺设计的一般考虑	35	5 电解法	85
2 粉末冶金生产工艺	35	第3章 脆性与延性材料的机械研磨	87
3 粉末冶金成形工艺的比较	40	1 研磨原理	87
4 零件制造工艺的比较与选择准则	41	2 研磨设备	90
		3 研磨参数和粉末特性	93
		4 机械研磨技术的进展	97
		第4章 铁粉与钢粉生产	98
		1 铁粉生产	98
		1.1 用铁氧化物还原生产铁粉	98

1.2 电解铁粉生产	107	4 粉末的容积性能	196
1.3 羰基铁粉生产	109	4.1 粉末流动	196
1.4 用水雾化法生产铁粉	110	4.2 黏聚强度	196
2 钢粉生产	113	4.3 摩擦性	198
2.1 水雾化普碳钢粉与低合金钢粉	114	4.4 松装密度	199
2.2 部分扩散合金化钢粉	122	4.5 振实密度	200
2.3 黏结剂处理的粉末	122	4.6 流动性	201
2.4 工具钢粉	125	4.7 偏聚倾向	202
2.5 不锈钢粉	126	4.8 自然坡度角	203
2.6 高温合金粉	127	5 粉末的取样与分级	204
第5章 非铁金属与合金粉末生产	129	5.1 粉末取样	204
1 铜粉与铜合金粉生产	129	5.2 粒度分级	208
1.1 还原铜氧化物生产铜粉	129	5.3 筛分方法	210
1.2 电解铜粉生产	131	6 金属粉末的爆炸性和自燃	214
1.3 雾化铜粉生产	135	6.1 金属粉末的爆炸性	214
1.4 水法冶金法铜粉生产	137	6.2 金属粉末的自燃性	218
1.5 铜合金粉生产	138	7 金属粉末的毒性	219
2 锡粉生产	140	7.1 颗粒性状	219
3 镍基粉末生产	141	7.2 管理机构和标准	219
3.1 羰基合物气相冶金法生产镍粉	141	7.3 铍	219
3.2 水法冶金法生产镍粉	144	7.4 镍	220
3.3 雾化法生产镍合金粉	148	7.5 铁	220
3.4 机械合金化	149	7.6 镁	220
4 钴基粉末生产	151	7.7 钴	221
4.1 水法冶金法	151	7.8 钨	221
4.2 钴氧化物还原	152	7.9 铜	221
4.3 雾化	152	7.10 银	222
5 铝粉与铝合金粉生产	153	7.11 金	222
5.1 历史背景	153	7.12 铝	222
5.2 气雾化	153	7.13 钨	222
5.3 粒度分布	157	7.14 锡	222
5.4 粉末形态	158	7.15 钛	223
5.5 表面氧含量	159	7.16 钽	223
5.6 化学和物理性能	160	7.17 锆	223
5.7 应用	161	7.18 铂族金属	223
6 钛粉与钛合金粉生产	161	7.19 铅	223
6.1 化学还原法	162	第7章 金属粉末压制性, 烧结体尺寸变化及混合	225
6.2 氢化/脱氢工艺	163	1 金属粉末的压缩性与成形性	225
6.3 气雾化	164	1.1 压缩性	225
6.4 等离子体旋转电极法	166	1.2 生坯强度	229
6.5 机械合金化	166	2 烧结金属压坯的尺寸变化	232
7 难熔金属粉末生产	167	2.1 标准试验方法	233
7.1 钨粉和碳化钨粉生产	167	2.2 尺寸公差	233
7.2 其他难熔金属	173	2.3 生产实例	234
第6章 金属粉末特性	177	3 金属粉末的合批与预混合及黏结剂处理	235
1 粉末的整体特性与表面特性	177	3.1 合批和预混合的参数	235
1.1 表面分析	177	3.2 粉末特性的影响	236
1.2 微分析	179	3.3 合批和预混合用设备	237
1.3 整体分析	181	3.4 金属粉末的混合工艺	238
2 粉末的粒度和粒度分布	184	参考文献	241
2.1 粒度	185	第3篇 金属粉末性能测试与相应标准	243
2.2 粒度分布	185	第1章 金属粉末性能的测试	245
2.3 平均粒度	186	1 粒度分析	245
2.4 测量方法	187	1.1 粒度分析基础知识	245
3 粉末的表面积、密度与孔隙度	188	1.2 粒度分析方法	249
3.1 气体吸附法	188	1.3 团粒的表征	270
3.2 透过法	189	2 粉末颗粒形状的表征	270
3.3 比重计法	191	3 比表面积的测定	272
3.4 压汞法	192		

3.1 从粉末粒度分布数据和形体系数计算	272	1.5 烧结	314
3.2 气体吸附法	273	1.6 工艺的选择	314
3.3 压汞法	274	2 粉末的处理与润滑	315
3.4 X射线小角散射法	274	2.1 粉末的处理	315
第2章 粉末性能测试方法国际标准要点	275	2.2 润滑剂对铁及不锈钢粉末成形工艺过程的 影响	318
1 ISO 3954: 1997 粉末冶金用粉末—— 取样方法	275	3 金属粉末的力学性状与粉末压制模型	325
2 ISO 9276-1: 2001 粒度分析结果的表述 第1部分: 图解表示法	277	3.1 金属粉末压制的结构模型	325
3 ISO 9276-2: 2001 粒度分析结果的表述 第2部分: 由粒度分布计算平均粒度/直径和各 次矩	278	3.2 具有延性颗粒的金属粉末的结构模型	332
4 ISO 9276-4: 2001 粒度分析结果的表述 第4部分: 分级过程的表征	280	3.3 粉末材料的结构特性与函数的实验确定	332
5 ISO 3923-1: 1979 金属粉末 松装密度的测定 第1部分: 漏斗法	284	3.4 粉末于模具中压制时的数字模拟	335
6 ISO 3923-2: 1981 金属粉末 松装密度的测 定 第2部分: 斯科特 Scott 容量计法	285	4 粉末冶金压机与模具	338
7 ISO 3953: 1993 金属粉末 振实密度的测定	286	4.1 粉末成形压机	338
8 ISO 4490: 2001 金属粉末 流动性的测定 标 准漏斗法(霍尔流量计法)	286	4.2 模具系统	343
9 ISO 3927: 2001 金属粉末(不包括硬质合金粉 末)在单轴压制中压缩性的测定	287	4.3 模具设计	347
10 ISO 3995: 1985 金属粉末 用矩形压坯横向 断裂测定压坯强度	289	4.4 模架	349
11 ISO 4492: 1985 金属粉末(不包括硬质合金 粉末)与压制和烧结有关的尺寸变化的 测定	290	5 温压	349
12 ISO 4497: 1983 金属粉末 干筛分法测 定粒度	292	5.1 温压工艺	350
13 ISO 10076: 1991 金属粉末 粒度分布的测 定 液体中重力沉降光衰减法	292	5.2 温压致密化机理	350
14 ISO 10070: 1991 金属粉末 稳流条件下粉末 层透气性试验 外比表面积测定	294	5.3 温压系统	350
15 ISO 4491-1: 1989 金属粉末 用还原法测定氧 含量 第1部分: 总则	296	5.4 温压材料的性能	351
16 ISO 4491-2: 1997 金属粉末 用还原法测定氧 含量 第2部分: 还原时的质量损失 (氢损)法	297	5.5 磁性材料温压成形	353
17 ISO 4491-3: 1997 金属粉末 用还原法测定氧 含量 第3部分: 可被氢还原氧	298	5.6 温压的潜在应用	353
18 ISO 4491-4: 1989 金属粉末 用还原法测定氧 含量 第4部分: 还原提取法测定总氧含量	300	6 冷等静压	354
19 ISO 4496: 1978 金属粉末 铁、铜、锡和青铜 粉末中酸不溶物含量的测定	301	6.1 冷等静压设备	354
20 ISO 13944: 1996 含有润滑剂的金属粉末 润 滑剂含量的测定 修正的索格利特(Soxhlet)萃 取法	302	6.2 包套和模具	355
21 ISO 13762: 2001 粒度分析 X射线小角散 射法	303	6.3 冷等静压工艺	357
参考文献	306	6.4 冷等静压的应用	358
第4篇 成形与固结	307	第2章 金属粉末轧制	359
第1章 成形与压制工艺	309	1 粉末轧制与致密金属轧制的区别	359
1 粉末的成形与固结工艺	309	2 粉末轧制变形区的形成	359
1.1 粉末成形技术	309	3 金属粉末常规轧制成形法	360
1.2 粉末压制方法	310	4 粉末轧制法生产多孔性和致密板、带材的几种 工艺方案	361
1.3 获得高密度的固结方法	312	5 粉末轧制材料的烧结	362
1.4 粉末连续成形方法	314	5.1 粉末生带坯烧结炉	362
		5.2 烧结时间对粉末带材性能的影响	362
		5.3 烧结温度对粉末带材性能的影响	362
		5.4 粉末生带坯高温短时间烧结的可能性及其 应用	363
		5.5 粉末带材烧结时出现的表面缺陷及其消除 方法	363
		6 轧制金属粉末用轧机	364
		6.1 粉末轧机的特点	364
		6.2 国外常用的几种粉末轧机	365
		7 粉末轧制供料装置	366
		7.1 粉末轧制供料料斗及其结构特点	366
		7.2 工业用机动供料漏斗	368
		8 影响粉末轧制带材性能的主要因素	369
		8.1 粉末性能的影响	369
		8.2 粉末轧制工艺因素的影响	370
		9 粉末轧制材料及其应用	373
		9.1 粉末轧制多孔性材料	373
		9.2 金属及合金粉末板、带材	374
		第3章 粉末注射成形	380
		1 概述	380
		1.1 粉末注射成形的基本概念	380
		1.2 粉末注射成形的优点	380
		2 粉末注射成形工艺	384

2.1 PIM用粉末原料	384	6.4 冷烧结工艺过程	493
2.2 黏结剂	387	第5章 熔渗与组合烧结	498
2.3 注射料的制备与性能	390	1 熔渗工艺	498
2.4 注射成形	393	1.1 熔浸机理	498
2.5 黏结剂的脱除	395	1.2 熔浸工艺	499
2.6 烧结	400	1.3 熔浸材料系统	500
3 粉末注射成形材料及其性能	406	1.4 熔浸制品	505
3.1 粉末注射成形材料	406	2 组合烧结	510
3.2 粉末注射成形材料的性能	407	2.1 烧结接合	510
3.3 生产者间的差异	414	2.2 熔渗接合	511
4 粉末注射成形产品应用及市场	414	2.3 钎焊接合	512
4.1 PIM市场	414	3 组合烧结应用实例	513
4.2 应用领域举例	414	第6章 燃烧合成	517
第4章 烧结工艺与技术	419	1 概述	517
1 固结原理与生产工艺模型	419	2 燃烧合成的基本理论	518
1.1 压坯的固结	419	2.1 燃烧理论	518
1.2 收缩与致密化	420	2.2 热力学和动力学	521
1.3 显微组织	421	2.3 燃烧化学和化学合成	522
1.4 力学性能	421	3 燃烧合成技术	525
1.5 单元系金属粉末压坯的烧结	422	3.1 概述	525
1.6 烧结均匀化	423	3.2 SHS制取粉末	525
1.7 粉末、合金系与均匀化变量	424	3.3 SHS致密化技术	528
1.8 活化烧结与液相烧结	424	3.4 SHS冶金、涂层和焊接	529
1.9 生产工艺模型化	428	3.5 反应加工技术	530
2 烧结炉与烧结气氛	431	4 燃烧合成材料	532
2.1 连续烧结炉	431	4.1 金属间化合物	532
2.2 钟罩式烧结炉	433	4.2 陶瓷	533
2.3 真空烧结炉	433	4.3 硬质合金和金属陶瓷	535
2.4 烧结气氛气体	433	4.4 复合材料和梯度材料	536
2.5 烧结炉各区(带)气氛气体配置	440	4.5 有机物	537
2.6 保护气氛气体安全注意事项	441	第7章 高密度固结原理与生产工艺	539
3 烧结生产实践	442	1 金属粉末热等静压	539
3.1 铁基材料的烧结	443	1.1 概述	539
3.2 不锈钢的烧结	449	1.2 热等静压粉末致密化机理	539
3.3 高速钢和工具钢的烧结	454	1.3 热等静压的基本工艺及参数	541
3.4 铜基合金的烧结	459	1.4 热等静压成形用包套	541
3.5 铝和铝合金的烧结	462	1.5 热等静压的压力介质	543
3.6 硬质合金的烧结	466	1.6 热等静压压机	543
3.7 钨和钼的烧结	470	1.7 热等静压技术的应用	545
3.8 钨基重合金的烧结	472	1.8 热等静压技术发展展望	547
3.9 钛的烧结	473	2 粉末挤压成形	547
3.10 镍和镍合金的烧结	474	2.1 概述	547
4 反应烧结	476	2.2 粉末挤压分类及其工艺	548
4.1 反应烧结类型	476	2.3 粉末挤压成形技术的应用	551
4.2 燃烧合成反应烧结	476	2.4 粉末挤压成形技术的新发展	552
4.3 工艺参数对液相形成的影响	478	3 热压	552
4.4 加压反应烧结	481	3.1 概述	552
5 液相烧结	481	3.2 热压模具	553
5.1 热力学和动力学因素	484	3.3 热压的加热方式、气氛和设备	554
5.2 烧结阶段	485	3.4 热压的应用	555
5.3 制备过程的考虑	486	3.5 展望	558
5.4 液相烧结的应用	486	第8章 粉末锻造	559
5.5 超固相线液相烧结	487	1 粉末锻造的类别	559
5.6 瞬时液相烧结	489	1.1 粉末热锻	559
5.7 活化液相烧结	490	1.2 粉末冷锻	560
6 冷烧结-高压固结	490	2 粉末原料的选择	560
6.1 冷烧结试验技术	491	3 预成形坯的设计	563
6.2 粉末压制过程致密化	491	4 预成形坯的变形与致密	563
6.3 冷烧结机理	493	5 预成形坯的锻造	564

5.1 多孔性预成形坯锻造时的变形特征	564	1.5 质量控制与检验	632
5.2 锻造工艺参数对锻件密度的影响	565	1.6 生产过程控制	633
5.3 预成形坯的锻前预热	565	1.7 检验注意事项	634
6 粉末锻造对模具与设备的要求	567	1.8 缺陷检查	634
7 合金材料与零件的粉末锻造	567	1.9 Shewharts 缺陷数据控制图	635
7.1 行星齿轮的粉末烧结锻造	567	1.10 公差控制	636
7.2 连杆的粉末锻造	567	2 后续加工的质量控制与检验	637
7.3 高速钢的粉末锻造	569	2.1 后续加工	637
7.4 高温合金的粉末等温锻造	569	2.2 生产过程控制方法	639
7.5 12Cr2Ni4A 和 18Cr2Ni4WA 钢的粉末锻造	570	2.3 连续改进与实例	640
7.6 铝合金的粉末锻造	570	2.4 总结	641
7.7 钛合金的粉末锻造	571	3 粉末冶金零件的试验与评定	641
8 粉末喷射锻造	572	3.1 尺寸评定	641
9 粉末锻造钢的性能数据	572	3.2 密度测量	643
参考文献	582	3.3 表面硬度和显微硬度	645
第5篇 后续加工与质量控制	587	3.4 力学性能测试	645
第1章 铁基粉末冶金制品的热处理	589	3.5 裂纹探测	646
1 烧结钢热处理的特点	589	3.6 超声波检验	647
1.1 烧结钢的组织特点	589	第4章 粉末冶金材料金相学	649
1.2 合金元素在烧结钢热处理中的作用	590	1 试样准备	649
2 烧结钢的热处理工艺	591	2 自动研磨与抛光	651
2.1 烧结钢的整体淬火-回火	591	3 手工研磨与抛光	651
2.2 烧结钢的感应淬火	591	4 金属粉末颗粒	653
2.3 烧结钢的渗碳和碳氮共渗	592	5 宏观检验	653
2.4 烧结钢的氮碳共渗	592	6 扫描电子显微镜 (SEM)	653
2.5 烧结硬化	593	7 微观检验	657
2.6 烧结钢的水蒸气处理	594	8 粉末冶金材料的显微组织	658
3 烧结钢的热处理指南	594	9 典型显微照片	674
3.1 烧结钢热处理后的力学性能	594	参考文献	682
3.2 烧结钢热处理注意事项	594	第6篇 粉末冶金材料	683
第2章 粉末冶金制品的后续加工	596	第1章 铁基粉末冶金材料	685
1 烧结钢的切削性与切削加工	596	1 铁基粉末冶金材料	685
1.1 烧结钢的切削性	596	1.1 合金化方法	686
1.2 烧结钢的切削加工	606	1.2 铁基粉末冶金材料	687
2 粉末冶金零件含浸树脂	612	1.3 烧结材料的热膨胀系数与断裂韧性	699
2.1 浸渗方法	612	1.4 铁基粉末冶金材料的切削性	699
2.2 浸渗用树脂	613	1.5 铁基烧结材料的力学性能	701
2.3 性能	613	1.6 粉末冶金结构零件的应用	703
3 烧结零件尺寸公差和改进	615	2 渗铜烧结钢	705
3.1 基体粉末	615	2.1 熔渗的基本条件	705
3.2 成形	618	2.2 常规 (部分) 渗铜钢	706
3.3 零件的密度及密度分布	620	2.3 材料	706
3.4 生坯运送	620	2.4 熔渗工艺过程	708
3.5 烧结	620	2.5 充分熔渗的渗铜烧结钢	709
3.6 热处理	621	2.6 熔渗零件评定	710
3.7 与尺寸变化相关各种因素的综合影响	621	第2章 粉末冶金不锈钢与工具钢	711
3.8 复压 (精整)	623	1 粉末冶金不锈钢	711
3.9 检测	623	1.1 粉末冶金不锈钢的发展和分类	711
4 焊接与连接工艺	624	1.2 粉末冶金不锈钢的制取工艺	712
4.1 粉末冶金材料的焊接特点	624	1.3 粉末冶金不锈钢钢种及性能	715
4.2 粉末冶金材料的连接方法	624	1.4 粉末冶金不锈钢的应用	722
4.3 粉末冶金材料的连接要点	626	1.5 全致密粉末冶金不锈钢	724
第3章 质量控制与评定	628	2 粉末冶金高速工具钢	726
1 粉末冶金制品的生产规划与质量控制	628	2.1 概述	726
1.1 统计过程控制的概念	628	2.2 粉末冶金高速钢的生产工艺	727
1.2 Shewhart 控制图	628	2.3 粉末冶金高速钢的热处理	731
1.3 合理取样	630	2.4 粉末冶金高速钢的质量特性	732
1.4 粉末冶金生产过程规划	631	2.5 粉末冶金工具钢的发展	737

2.6 粉末冶金高速钢的应用举例	740	2 粉末冶金零件的疲劳与断裂	829
第3章 非铁金属基粉末冶金材料	744	2.1 粉末冶金材料	829
1 粉末冶金铜基合金与复合材料	744	2.2 孔隙度的作用	831
1.1 铜粉	744	2.3 影响疲劳性能与断裂性能的其他因素	833
1.2 铜合金粉	745	2.4 提高动力性性能的措施	833
1.3 粉末压制	746	3 粉末冶金合金的耐磨性	833
1.4 烧结	747	3.1 磨损分类	833
1.5 铜基合金的性能与应用	749	3.2 影响耐磨性的因素	834
1.6 氧化物弥散强化铜材料	754	3.3 粉末冶金耐磨合金	835
2 粉末冶金铝合金及铝基复合材料	757	3.4 表面技术与热喷涂	838
2.1 工艺	757	3.5 表面硬化合金粉	840
2.2 成分及性能	759	3.6 全密度钴合金	840
2.3 应用和展望	763	4 粉末冶金合金的耐蚀性	841
3 粉末冶金钛合金	765	4.1 耐蚀性试验	842
3.1 粉末冶金钛合金的特点	765	4.2 粉末冶金不锈钢	847
3.2 粉末冶金钛合金的制造工艺路线	765	4.3 工艺参数对粉末冶金不锈钢耐蚀性的影响	848
3.3 粉末冶金钛合金的特性与制件	765	4.4 粉末冶金高温合金	851
3.4 钛基复合材料和金属间化合物	771	第6章 粉末冶金材料标准与材料性能测试方法标准	853
3.5 粉末冶金钛合金的新型制造技术	772	要点	853
3.6 粉末冶金钛合金的应用与发展	772	1 ISO 5755: 2000 (E) 烧结金属材料 规范	
4 粉末冶金铍	774	(GB/T 19076—2003)	853
4.1 概述	774	2 粉末冶金材料性能测试方法标准要点	859
4.2 性质	774	2.1 ISO 2738: 1999 可渗性烧结金属材料 密度	
4.3 制备工艺	776	的测定	859
4.4 粉末冶金铍合金	780	2.2 ISO 2738: 1999 可渗性烧结金属材料 开孔	
4.5 铍的应用	780	率的测定	859
4.6 安全与环保	781	2.3 ISO 2738: 1999 可渗性烧结金属材料 含油	
5 粉末冶金高温合金	781	率的测定	860
5.1 粉末冶金高温合金的成分	781	2.4 ISO 2739: 1973 烧结金属衬套 径向压溃	
5.2 粉末冶金高温合金的制造技术	782	强度测定法	861
5.3 粉末冶金高温合金的新进展	786	2.5 ISO 2740: 1999 烧结金属材料 (不包括硬质	
第4章 难熔金属与硬质合金	788	合金) 拉伸试样	861
1 难熔金属	788	2.6 ISO 3312: 1987 烧结金属材料 and 硬质合金	
1.1 钨及其合金	788	弹性模量测定	862
1.2 钼及其合金	789	2.7 ISO 3325: 1996 烧结金属材料 (不包括硬质	
1.3 铌、钽及其合金	790	合金) 横向断裂强度的测定方法	862
2 钨基合金	790	2.8 ISO 3369: 1975 致密烧结金属材料 and 硬质合	
2.1 钨基重合金	790	金 密度测定方法	862
2.2 电工用钨基合金	794	2.9 ISO 4003: 1977 可渗透性烧结金属材料	
3 硬质合金	797	气泡试验孔径的测定	863
3.1 概述	797	2.10 ISO 4022: 1987 可渗透性烧结金属材料	
3.2 硬质合金的制造工艺原理	800	流体渗透性的测定	864
3.3 硬质合金的特性	805	2.11 ISO 4498-1: 1990 烧结金属材料 (不包括	
3.4 硬质合金的加工	809	硬质合金) 表观硬度的测定	867
3.5 硬质合金的应用	810	2.12 ISO 4507: 2000 渗碳、碳氮共渗的烧结铁基	
3.6 硬质合金的检测及质量控制技术	812	材料表面硬化层深度的测定与鉴定 (显微	
3.7 硬质合金材料和制备技术的发展	813	硬度法)	867
4 金属陶瓷	815	2.13 ISO 5754 烧结金属材料 (不包括硬质合金)	
4.1 概述	815	无切口冲击试样	868
4.2 制备工艺	816	2.14 ISO/TR 14321: 1997 烧结金属材料 (不包括	
4.3 几种主要的金属陶瓷	818	硬质合金) 的金相制备与观察	869
第5章 粉末冶金材料性能	820	参考文献	872
1 高性能粉末冶金零件材料的力学性能	820	第7篇 粉末冶金材料应用与新发展	877
1.1 二次压制/二次烧结	821	第1章 粉末冶金结构零件	879
1.2 温压	822	1 汽车制造用粉末冶金结构零件	879
1.3 表面致密化	823	1.1 概述	879
1.4 粉末锻造	823	1.2 粉末冶金零件在汽车发动机中的应用	880
1.5 注射成形	828	1.3 粉末冶金零件在汽车变速器中的应用	883
1.6 全致密不锈钢	828		