

液相烧结粉末冶金材料

液相烧结 粉末冶金材料

郭庚辰 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心



化学工业出版社

液相烧结粉末冶金材料

郭庚辰 主编

化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

内 容 提 要

本书共分 10 章, 其内容包括概论、硬质合金、高密度合金、W-Cu 合金、钴基合金、铁基粉末冶金中的液相烧结、铜基粉末冶金中的液相烧结、烧结不锈钢、粉末冶金高速钢中的液相烧结、渗铜烧结钢、粉末冶金设备、材料和制品等。本书充分反映了当代国内外粉末冶金液相烧结的技术水平。本书第二到第十章的最后一节还列出了相关粉末冶金材料的牌号、成分、性能和应用, 为相关行业的工程设计人员选用粉末冶金材料提供了方便。

本书可供粉末冶金专业的科研和生产人员、大专院校有关专业师生以及相关专业的工程技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

液相烧结粉末冶金材料/郭庚辰主编. —北京: 化学工业出版社, 2002.10
ISBN 7-5025-4037-7

I. 液… II. 郭… III. 液相烧结-粉末冶金制品
IV. TF125

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 069894 号

液相烧结粉末冶金材料

郭庚辰 主编

责任编辑: 任文斗

责任校对: 郑捷

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 23 $\frac{1}{4}$ 字数 554 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4037-7/TG·3

定 价: 55.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京工商广临字 2002-05 号



CISRI

等静压装备技术

钢铁研究总院等静压工程技术中心



钢铁研究总院自 20 世纪 60 年代开始研究、开发、制造冷等静压装备(CIP)、热等静压装备(HIP)以及 90 年代初开发的烧结热等静压装备(Sinter-HIP), 至今已近 40 年的历史。先后为国内外用户制造了各种性能要求的 CIP、HIP 和 Sinter-HIP 装备数十台。这些装备被广泛地应用于高温合金、钛铝合金、粉末冶金、高性能陶瓷、复合材料、连接及扩散焊等高新技术材料的成形烧结和致密化。

钢铁研究总院于 1986 年获中华人民共和国劳动部颁发的等静压设计资格证书, 并拥有一支专门从事等静压装备研究、开发、设计、生产、管理及售后服务的专业队伍。具有雄厚的技术力量、管理能力和丰富的实践经验。

表 1 热等静压机装备选型 HIP

类别	型号	最高压力 /MPa	最高温度 /°C	工作室尺寸 /mm	工作介质	装料方式	气体系统
小型 HIP	RD100- I	150	1500	φ 100 × 200	Ar	上装料	气体不回收
	RD100- II	200	2000	φ 100 × 200	Ar 或 N ₂		
	RD120- I	150	1500	φ 120 × 240	Ar		
	RD120- II	200	2000	φ 120 × 240	Ar 或 N ₂		
	RD150- I	150	1500	φ 150 × 240	Ar		
	RD150- II	200	2000	φ 150 × 240	Ar 或 N ₂		
	RD180- I	150	1500	φ 180 × 200	Ar		
	RD180- II	200	2000	φ 180 × 200	Ar 或 N ₂		
中型 HIP	RD200- I	150	1500	φ 200 × 300	Ar	上装料	气体回收
	RD200- II	200	2000	φ 200 × 300	Ar 或 N ₂		
	RD240- I	150	1500	φ 240 × 500	Ar		
	RD240- II	200	2000	φ 240 × 500	Ar 或 N ₂		
	RD270- I	150	1500	φ 270 × 500	Ar		
	RD270- II	200	2000	φ 270 × 500	Ar 或 N ₂		
	RD300- I	150	1500	φ 300 × 500	Ar		
	RD300- II	200	2000	φ 300 × 500	Ar 或 N ₂		
大型 HIP	RD350- I	150	1500	φ 350 × 600	Ar	下装料	气体回收
	RD350- II	200	2000	φ 350 × 600	Ar 或 N ₂		
	RD400- I	150	1350	φ 400 × 800	Ar		
	RD400- II	200	2000	φ 400 × 800	Ar 或 N ₂		
	RD450- I	150	1500	φ 450 × 1000	Ar		
	RD500- I	150	1500	φ 500 × 1000	Ar		
	RD600- I	150	1500	φ 600 × 1000	Ar		
	RD690- I	150	1500	φ 690 × 1200	Ar		
	RD700- I	100	1000	φ 700 × 1500	Ar		
	RD700- II	120	1250	φ 700 × 1500	Ar		
	RD800- I	120	1250	φ 800 × 1500	Ar	下装料	
	RD1000- I	120	1250	φ 1000 × 2000	Ar		

表 2 SIP- I 卧式烧结热等静压装备选型

型号	SIP200- I	SIP240- I	SIP300- I	SIP450- I	SIP500- I
技术参数					
最高工作压力 /MPa	6 或 10	6 或 10	6 或 10	6 或 10	6 或 10
最高温度 /°C	1600	1600	1600	1600	1600
室温极限真空度 /Pa	4	4	4	4	4
工作室尺寸 /mm	200 × 200 × 600	240 × 260 × 800	300 × 320 × 1200	450 × 500 × 1500	500 × 550 × 1500
工作介质	Ar(气体不回收)	Ar(气体不回收)	Ar(气体不回收)	Ar(气体不回收)	Ar(气体不回收)
装料量 /kg	约 50	约 100	约 250	约 500	约 750
总功率 /kW	约 80	约 160	约 300	约 450	约 500

表 3 SIP- II 立式烧结热等静压装备选型

型号	SIP120- II	SIP160- II	SIP200- II	SIP300- II	SIP350- II	SIP450- II	SIP500- II	SIP570- II
技术参数								
最高工作压力 /MPa	6 或 10	6 或 10	6 或 10	6 或 10	6 或 10	6 或 10	6 或 10	6 或 10
最高温度 /°C	1600 或 2000	1600 或 2000	1600 或 2000	1600 或 2000	1600 或 2000	1600 或 2000	1600 或 2000	1600 或 2000
室温极限真空度 /Pa	4	4	4	4	4	4	4	4
工作室尺寸 /mm	φ 120 × 200	φ 160 × 200	φ 200 × 300	φ 300 × 500	φ 350 × 600	φ 450 × 600	φ 500 × 600	φ 570 × 800
工作介质	Ar 或 N ₂	Ar 或 N ₂	Ar 或 N ₂	Ar 或 N ₂	Ar 或 N ₂	Ar 或 N ₂	Ar 或 N ₂	Ar 或 N ₂
总功率 /kW	约 40 或 60	约 50 或 70	约 60 或 80	约 100 或 140	约 160 或 200	约 200 或 300	约 300 或 400	约 400 或 500



联系人: 陈宏霞 (中心主任)、

张德明 (研发部负责人)

电话: 010-62187059、62185143、
13701092268、13601126719

传真: 010-62187059 邮编: 100081

E-mail: iptec@163.com

http://www.hipfurnace.com

通讯地址: 北京市海淀区学院南路 76 号

钢铁研究总院等静压工程技术中心

山西省阳泉市林里粉末冶金有限公司



总经理：乔国强

山西省阳泉市林里粉末冶金有限公司位于207国道932km+850m处。企业创建于1992年。是一个由个人控股，集体参股的有限责任公司。目前拥有总资产2600万元，固定资产1800万元，职工380人，其中中高级技术管理人才10名，大专以上毕业生18名，全国知名专家3名，享受阳泉市政府津贴的专业技术拔尖人才1名。从1992年创建至今累计为国家上交税金突破1000万元。

公司以生产和销售粉末冶金用精还原铁粉为主导产业，拥有85m长隧道窑4条，二次精还原电炉生产线4条，精还原钢带式电炉生产线1条及其他辅助设备、设施等。目前公司已经达到了年产GB/T4136-94牌号的粉末冶金用还原铁粉-80目、-100目、-150目、-200目以及电焊条用铁粉15000t的生产能力。

公司生产的LH系列还原铁粉，以低碳钢铁鳞及超纯铁矿粉为原料，利用阳泉优质无烟煤为还原剂进行还原，经机械粉碎、氢中二次还原的工艺生产，具有稳定的化学成分和优良的物理-工艺性能，是制造铁基粉末冶金材料和制品的理想原料，并广泛用于焊接、火焰切割、化工、医药卫生等行业。公司已通过ISO9001:2000质量管理体系认证。

公司始终坚持“科技第一，以人为本，以市场为导向，以质量求生存”的经营方针，产品广泛销往全国各地，产品的国内市场占有率达12.8%，同时还销往日本、韩国、东南亚等国家和地区。公司申报的高新技术产业化推进项目“年产3万t用铁精矿粉生产高性能还原铁粉项目”2002年开工建设，该项目总投资11873万元，生产能力3万t，该项目建成投产后，公司生产规模将成为全国同行业第一，产品的国内市场占有率将超过30%，而且有1/3的产品可替代进口同类产品，部分产品出口国外。

公司的多项科研成果多次荣获省、市科技进步奖，公司荣获山西省优秀中小企业、阳泉市民营企业标兵、纳税大户等殊荣。公司董事长兼总经理乔国强曾获山西省杰出青年企业家、阳泉市劳动模范、阳泉市优秀民营企业企业家等称号。山西省委书记田成平，副书记张保顺，山西省副省长范堆相等省、市领导多次到公司视察，对企业的发展给予大力关注。



电传：(0353) 5030235

地址：山西阳泉荫营镇林里村

邮编：045017

联系人：王慧明

电话：(0353) 5030235 (外线) (0353) 5030641-8008 (办公室)

序

在陶瓷行业，液相烧结是一种已经采用了很多世纪的古老工艺，其在耐火砖制造中的应用可以追溯到 7000 多年以前，其在金属中的第一个应用（古代印加人以金作为粘结剂）可以追溯到 400 多年以前。在近代，液相烧结的应用迅速扩大，国外有人统计，无论是按质量计算，还是按体积计算，使用液相烧结制造的材料和制品都占了粉末冶金烧结材料和制品的大部分，例如，有许多粉末冶金材料与制品，诸如硬质合金、高密度合金、W-Cu 合金、Cu-Sn 合金以及一些高密度-高强度铁基材料与制品等，都是使用液相烧结工艺进行生产的。可是，时至今日，很多材料工作者与制品工作者对液相烧结仍然感到很陌生，这可能与关于液相烧结的中文技术资料奇缺有关。在这种情况下，本书的出版就更具重要意义。

本书比较系统地阐述了液相烧结的理论基础和粉末冶金材料与制品生产中的应用，这将有助于粉末冶金科技工作者和生产工作者较深入地理解与应用液相烧结工艺，控制生产过程，开发新材料、新产品。同时，由于本书也列出了相关粉末冶金材料的牌号、成分、性能和应用，从而为其他行业工程设计人员如何选用粉末冶金材料提供了方便。

本书作者从事粉末冶金课题工作 10 余年，从事粉末冶金书刊的编辑工作 20 余年，舍弃业余悠闲，矢志不移，进行了艰苦而不懈的努力，依据长期收集和积累的液相烧结方面的技术文献，写成此书，以飨读者。作者何求？“奉献”而已。在本书出版之际，略书数言，以贺本书之出版，以明作者之心志。

中国机协粉末冶金专业协会 顾问 教授级高级工程师 韩凤麟
中国钢协粉末冶金协会

2002 年 8 月 1 日

前 言

混（混料）、压（压制）、烧（烧结）被称为粉末冶金材料与制品生产的三大必须而又相互关联的工序。特别是烧结，是赋予粉末冶金材料与制品最终性能的关键工序。液相烧结是烧结的一种重要形式，广泛应用于粉末冶金制品的生产中。根据国外统计，到目前为止，按质量大约有 70%，按体积大约有 90% 的烧结金属制品是在液相存在的情况下进行烧结的。而且，对于某些领域，例如硬质合金和高密度合金等，液相烧结是其惟一的烧结方式。

液相烧结的主要优点是：材料致密化和均匀化的速度比较快，材料密度比较高，特别是使用液相烧结技术所得到的显微组织可以提供高于使用固相烧结材料的力学和物理学性能，从而可以扩大粉末冶金制品的应用范围，或者使之可以在更为严酷的工作条件下进行工作。而且，在可以改善粉末冶金材料和制品的各种技术（如热等静压、粉末锻造、两次压制和两次烧结等）中，它的成本比较低和容易实现。

本书是编者在长期广泛收集国内外资料（图书、期刊、专利、文集、标准等）的基础上写成的。北京科技大学材料科学与工程学院曲选辉教授、贾成厂教授，中南大学粉末冶金研究所易建宏教授，《稀有金属材料与工程》编辑部周吉峰编辑，《硬质合金》编辑部孙石雅编辑，株洲硬质合金厂张荆门教授等，为本书的编写提供了重要资料，本书还参考了国内外许多专家学者的重要资料；钢铁研究总院吕大铭教授、王洪海教授、贾佐诚副教授，北京市粉末冶金研究所高清德高级工程师等对书中有关章节进行了审查和修改；全书由粉末冶金老前辈韩凤麟教授进行审定；中国钢协粉末冶金协会葛立强、高一平、马淑英等同志，中国机协粉末冶金专业协会陈越等同志，对于本书的出版给予了关心和帮助；有关企业领导张宏才、陈宏霞、许云灿、郑平龙、乔国强、孙克云、王利民、杨建川、黄万全等也为本书提供了资料；郭冬艳、邵宁等对于本书的出版做了一定的工作；在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限，本书一定存在许多不足之处，请广大读者不吝指正。

编 者

2002 年 9 月 1 日

目 录

第一章 概论	1
第一节 粉末冶金中的液相烧结	1
一、持续液相烧结	1
二、瞬时液相烧结	2
三、超固相线烧结	3
四、施压液相烧结	4
五、反应液相烧结	5
第二节 液相烧结的条件与过程	6
一、液相烧结的条件	6
(一) 湿润性	6
(二) 溶解度	7
(三) 液相数量	7
二、液相烧结的过程	7
(一) 液相的生成与颗粒的重新排列阶段	7
(二) 固相的溶解-再沉淀阶段	8
(三) 固相骨架的形成阶段	8
第三节 影响液相烧结的因素	8
一、颗粒尺寸	8
二、颗粒形状	9
三、粉末内部的孔隙	9
四、添加剂的均匀性	9
五、添加剂的数量	10
六、生坯密度	11
七、加热速度与冷却速度	12
八、杂质和微量添加剂	12
九、烧结温度	13
十、烧结时间	14
十一、烧结气氛	14
第四节 液相烧结的优点与局限	15
第五节 液相烧结的发展与应用	15
参考文献	16
第二章 硬质合金	18
第一节 WC-Co 类硬质合金	18
一、WC-Co 类硬质合金液相烧结的一般特点	18
二、WC-Co 类硬质合金的液相烧结机制	19
三、进一步提高 WC-Co 类硬质合金烧结密度的方法	19
(一) 热等静压 (HIP) 法	19
(二) 正压液相烧结法	20

四、WC-Co类硬质合金液相烧结期间晶粒的非连续长大	21
(一) 粗颗粒 WC 的影响	21
(二) 杂质的影响	22
(三) 碳的不均匀分布的影响	22
第二节 亚微和纳米 WC-Co 硬质合金晶粒长大的抑制	22
一、亚微 WC-Co 硬质合金晶粒长大的抑制	23
(一) 亚微 WC-10%Co 合金的制备及抑制剂的添加方法	23
(二) 亚微 WC-10%Co 硬质合金的力学性能	25
二、纳米 WC-Co 硬质合金晶粒长大的抑制	25
第三节 碳化钛基硬质合金	27
一、碳化钛基硬质合金的液相烧结机制	27
二、TiC-Co 类硬质合金的液相烧结	28
(一) 少量粘结剂对于致密化的影响	28
(二) 钴及其含量对于 TiC 致密化的影响	28
(三) 较大颗粒 TiC 的致密化	29
(四) TiC-Co 在不同阶段的致密化	29
三、TiC-Co-Mo 类硬质合金的液相烧结	29
四、TiC-Ni 类硬质合金的液相烧结	30
第四节 HfC、VC、NbC、TaC 基硬质合金	31
一、致密化观察	32
二、碳化物颗粒的接触度	32
(一) 粘结相含量对于碳化物颗粒接触度的影响	32
(二) 烧结时间对于碳化物颗粒接触度的影响	32
(三) 湿润性对于碳化物颗粒接触度的影响	33
(四) 烧结温度对于碳化物颗粒接触度的影响	34
三、碳化物晶粒的长大	34
(一) 烧结温度对于碳化物晶粒长大速度的影响	36
(二) 粘结相含量对于碳化物晶粒长大速度的影响	36
(三) 碳化物晶粒的接触程度对其长大速度的影响	37
第五节 微波烧结	37
第六节 硬质合金的牌号、成分、性能和应用	38
一、国内外部分硬质合金生产厂家牌号选择对照	38
二、硬质合金的应用	43
(一) 硬质合金切削刀具	43
(二) 硬质合金拉伸模具	45
(三) 硬质合金冲压模具	46
(四) 硬质合金量具	48
(五) 硬质合金夹具及耐磨零件	49
(六) 硬质合金冲击凿岩工具	50
(七) 硬质合金煤炭采掘工具	50
(八) 硬质合金地质钻探工具	51
(九) 硬质合金油井钻头	52
三、硬质合金牌号、基本成分、基本性能和作业条件推荐的最新国家标准	53
(一) 切削工具用硬质合金	53

(二) 地质、矿山工具用硬质合金	54
(三) 耐磨零件用硬质合金	54
参考文献	56
第三章 高密度合金	57
第一节 W-Ni 合金	57
一、W-Ni 合金的液相烧结机制	57
二、W-Ni 合金液相烧结期间孔隙的闭合	58
(一) 大的孤立孔隙的闭合	58
(二) 大小不等的混合孔隙的闭合	59
(三) 低孔隙度情况下小孔隙的闭合	60
(四) 不同液相量下孔隙的闭合	60
三、位错密度对于 W-Ni 合金固相和液相烧结的影响	61
(一) 位错密度对于细钨粉 W-Ni 合金液相烧结的影响	61
(二) 位错密度对于粗钨粉 W-Ni 合金液相烧结的影响	61
第二节 W-Ni-Cu 合金	62
第三节 W-Ni-Fe 合金	63
一、W-Ni-Fe 合金的液相烧结工艺	63
二、液相烧结 W-Ni-Fe 合金的力学性能和显微组织	64
三、W-Ni-Fe 压坯液相烧结期间液相由试样的外部向其内部的流动	66
第四节 W-Ni-Fe 合金的烧结强化	67
一、高密度合金的性能与组织结构特性的关系	67
二、固溶强化	69
(一) 添加钼	69
(二) 添加钽	69
(三) 添加铈	70
三、沉淀硬化强化	70
四、高镍铁比	72
(一) 镍铁比对 93W 高密度合金性能的影响	72
(二) 镍铁比对不同钨含量高密度合金性能的影响	74
五、湿氢气氛和综合性气氛	75
六、形变加工、形变热处理和热等静压	76
第五节 W-Ni-Fe-Co 合金	77
一、作为比较用的 W-Ni-Fe 合金 (例 1 合金)	79
二、专利介绍的 W-Ni-Fe-Co 合金	79
(一) 使用烧结-真空退火-氩气中热处理-淬火工艺制备的 W-Ni-Fe-Co 合金 (例 2 合金)	79
(二) 使用烧结-氩气中热处理-淬火-旋锻-时效工艺制备的 W-Ni-Fe-Co 合金 (例 3 合金)	80
第六节 W-Ni-Mn 合金	81
一、烧结过程中合金的失重与锰损	82
二、某些因素对于 W-Ni-Mn 合金致密化行为的影响	83
(一) 原料粉末氧含量的影响	83
(二) 烧结温度的影响	83
(三) 烧结制度的影响	84
三、影响 W-Ni-Mn 合金力学性能的重要因素	85
(一) 热处理的影响	85

(二) 基体含量和对粉末混合物进行球磨的影响	85
第七节 W-Ni-Co 合金的制备与性能	86
一、采用涂层钨粉制备的 W-Ni-Co 合金	86
二、采用液相烧结制备的 W-Ni-Co 合金	86
(一) W-Ni-Co 合金的力学性能	86
(二) W-Ni-Co 合金的点火穿甲性能	88
第八节 高密度合金的牌号、成分、性能和应用	88
一、高密度钨合金的国内外概况	88
二、高密度钨合金的基本性质和系列	89
(一) 基本性质	89
(二) 基本系列	90
三、高密度钨合金的应用	93
(一) 在航空和航天工业中的应用	94
(二) 在军事工业中的应用	94
(三) 在机械制造、仪表及轻工业中的应用	94
(四) 在电气工业中的应用	94
(五) 在屏蔽材料中的应用	95
(六) 其他方面的应用	95
参考文献	95
第四章 W-Cu 合金	97
第一节 粉末混合质量对于 W-Cu 合金烧结行为的影响	97
一、混合程度的测量与测量结果	98
二、压坯收缩与混合程度的关系	100
第二节 添加过渡金属的 W-Cu 合金	100
一、体积收缩	100
二、表面湿润性试验	101
第三节 添加金属钴的 W-Cu 合金	102
一、成形压力对于材料致密化的影响	103
二、升温速度对于材料致密化的影响	104
三、所制备粉末的均匀程度对于材料致密化的影响	104
四、原料铜粉的粒度对于材料烧结密度和性能的影响	104
五、钴的添加量对于材料烧结密度和性能的影响	104
六、钴对于材料收缩率的影响	105
七、钴对于材料晶粒度的影响	106
八、烧结温度对于材料性能的影响	106
第四节 共球磨 W-Cu 粉末压坯的烧结	106
一、混合和共球磨 W-Cu 粉末压坯的致密化行为	107
二、W-Cu 粉末压坯液相烧结的机制	109
三、W-Cu 混合粉末压坯的膨胀机制及其热力学分析	109
四、W-Cu 混合粉末压坯膨胀的控制	110
第五节 机械合金化 W-Cu 粉末压坯的烧结	111
一、MA W-Cu 粉末的特性	112
二、MA W-Cu 粉末压坯的烧结行为	113
三、MA W-Cu 粉末烧结材料的电导率	114

第六节 共还原 W-Cu 氧化物粉末压坯的烧结	114
一、混合料 A 和 B 压坯液相烧结时的致密化行为	114
二、混合料的均匀化系数 HI 与制品的显微硬度	115
三、材料压缩时的变形行为	116
第七节 机械-热化学方法制备高密度超细 W-Cu 合金	117
一、球磨与还原	117
二、材料烧结密度	118
第八节 WC-Cu 合金	118
一、影响 WC-Cu 合金致密化行为的因素	119
(一) 混合料制备工艺的影响	119
(二) 金属杂质含量的影响	119
(三) 铜含量的影响	120
(四) 烧结温度的影响	121
(五) 烧结时间的影响	121
二、致密外壳的形成	121
三、缩孔的形成	122
第九节 W-Cu 合金的牌号、成分、性能和应用	123
一、高、低压电器用钨铜电触头材料	123
二、真空开关和电子器件用钨铜材料	125
三、航空航天和军工用钨铜材料	126
四、其他领域用钨铜材料	126
参考文献	126
第五章 钴基合金	128
第一节 由预合金粉末制备的钨铬钴 (Stellite) 6 型合金	128
一、无硼钨铬钴 (Stellite) 6 型合金预合金粉末的液相烧结	128
(一) 烧结温度对于 PY250 粉末熔化率的影响	129
(二) 影响 PY250 粉末致密化行为的因素	130
(三) PY250 粉末烧结材料的孔隙度	132
二、加硼钨铬钴 (Stellite) 6 型合金预合金粉末的液相烧结	132
第二节 由预合金粉末制备的加硼钴基合金	132
第三节 外科植入用 Co-Cr-Mo 多孔性烧结合金的制取	134
一、粉末原料的成形性	135
二、压坯的烧结行为	136
三、烧结体的孔隙度	137
四、烧结体的尺寸变化	138
五、烧结材料的力学性能	139
六、烧结材料的耐腐蚀性	139
第四节 粉末冶金 Stellite 合金的牌号、成分、性能和应用	140
参考文献	140
第六章 铁基粉末冶金中的液相烧结	142
第一节 制取高密度 Fe-C 合金的一种特殊工艺	142
第二节 Fe-Cu、Fe-Cu-C 系合金烧结时尺寸的控制	144
一、Fe-Cu 压坯液相烧结时的尺寸变化	144
(一) 轴向和径向的尺寸变化	144

(二) 体积变化	145
二、影响 Fe-Cu 压坯烧结时尺寸变化的因素	145
(一) 体积膨胀与成形压力的关系	146
(二) 体积膨胀与烧结温度的关系	147
(三) 体积膨胀与石墨含量的关系	147
(四) 体积变化与颗粒内部微孔隙度的关系	148
(五) 体积增大与铜的扩散的关系	149
(六) 体积增大与粉末粒度的关系	149
三、Fe-Cu 压坯烧结过程中骨架的溶解与再形成	149
第三节 Fe-Ti 烧结合金	150
一、使用 Fe-纯钛粉混合料	151
二、使用 Fe-钛化合物粉混合料	151
三、使用 Fe-Fe ₂ Ti 粉混合料	152
(一) 孔隙的形成和再充填	152
(二) 致密化	152
(三) 力学性能	156
(四) Fe-Ti 系的进一步合金化	157
第四节 Fe-P 系烧结合金	157
一、铁-磷铁压坯的烧结	157
(一) 影响孔隙结构的因素	158
(二) 烧结体的力学性能	159
二、Fe-P 烧结合金的脆性及其防止	160
(一) 脆性产生的原因	161
(二) 脆性的防止	161
三、含磷压坯液相烧结期间收缩的各向异性	162
(一) Fe-P-Cu 系压坯	162
(二) Fe-P-Ni 系压坯	163
(三) Fe-P-Mo 系压坯	164
(四) Fe-P-MCM 系压坯	165
第五节 Fe-Ni 烧结合金	165
一、铁粉的颗粒大小对其致密化的影响	166
二、加热速度对其致密化的影响	166
三、碳含量对其致密化的影响	167
四、镍的存在形式对其致密化的影响	167
第六节 Fe-Sn、Fe-Sn-Cu 系烧结合金	168
一、Fe-Sn 压坯的液相烧结	169
二、Fe-Sn-Cu 压坯的液相烧结	170
三、纯铁、Fe-Cu、Fe-Sn 与 Fe-Sn-Cu 材料的比较	172
第七节 高强度低合金钢 (Fe-2Cu-2Ni-0.9Mo-0.8C) 粉末压坯的烧结	173
一、烧结温度对于材料致密化和力学性能的影响	173
二、烧结时间对于材料致密化和力学性能的影响	174
三、使用预合金化粉末的影响	175
四、热处理对材料力学性能的影响	175
第八节 Fe-Ni-C-B 和 Fe-Ni-Mo-C-B 合金的烧结	176

一、硼对合金致密化的影响	176
二、碳对掺硼合金致密化的影响	176
三、硼的添加量对于合金力学性能的影响	176
第九节 以碳化物基母合金为添加剂的烧结低合金钢	178
第十节 生产高密度耐磨铁基烧结合金的工艺方法 (一)	179
一、预烧结温度的影响	179
二、生坯密度的影响	180
三、最佳工艺方法	181
第十一节 生产高密度耐磨铁基烧结合金的工艺方法 (二)	182
第十二节 添加 Cu-Mn-Si 合金粉的烧结铁基合金	183
第十三节 用于铁基粉末液相烧结的钼铁合金	185
一、以碳化的钼铁作为添加剂	185
二、以未碳化的钼铁作为添加剂	186
三、C-Fe-Mo 三相平衡图	186
第十四节 粉末冶金铁基结构零件材料牌号、成分、性能和应用	188
一、中国粉末冶金铁基结构零件材料标准	188
二、ISO 5755: 1996《烧结金属材料——规范》中的粉末冶金铁基结构零件材料标准	190
三、粉末冶金铁基结构零件的应用	195
(一) 在汽车工业中的应用	195
(二) 在摩托车工业中的应用	207
(三) 在农业机械中的应用	209
(四) 在电动工具中的应用	210
(五) 在办公机械中的应用	211
(六) 在家用电器中的应用	211
(七) 在液压件中的应用	211
(八) 在纺织机械中的应用	212
参考文献	212
第七章 铜基粉末冶金中的液相烧结	214
第一节 二元铜基烧结合金	214
第二节 Cu-Al 烧结合金	218
一、Cu-Al 烧结合金的瞬时液相烧结	218
二、Cu-Al 烧结合金的感应液相烧结	219
(一) 感应液相烧结装置	219
(二) 磁场穿透深度的影响因素	220
(三) 感应加热对于压坯的特殊要求	220
第三节 Cu-Sn 烧结合金	220
第四节 Cu-Sn-Pb 烧结合金	221
第五节 Cu-Ti 烧结合金	222
一、瞬时液相对于 Cu-Ti 烧结合金致密化行为的影响	224
二、机械活化对于 Cu-Ti 烧结合金致密化行为的影响	225
三、Cu-Ti 烧结合金的力学性能	226
第六节 粉末冶金铜基合金的材料牌号、成分、性能和应用	226
一、ISO 5755: 1996《烧结金属材料——规范》中的有关铜基粉末冶金材料标准	226
二、粉末冶金纯铜 (烧结铜)	226

三、粉末冶金青铜(烧结青铜)	227
(一) 烧结青铜结构零件材料	227
(二) 烧结青铜过滤器	228
(三) 烧结青铜轴承与其他轴承材料标准	229
四、粉末冶金黄铜(烧结黄铜)	236
五、粉末冶金镍黄铜(烧结镍黄铜, 烧结锌白铜)	237
六、粉末冶金铜-镍合金(烧结铜-镍合金)	238
七、粉末冶金铜-铅合金(烧结铜-铅合金)	238
八、粉末冶金摩擦材料	238
参考文献	238
第八章 烧结不锈钢	240
第一节 不锈钢粉制造及其零件生产的一般守则	241
第二节 加铜的奥氏体烧结不锈钢	242
一、在 N_2-H_2 气氛中进行烧结	242
(一) 加铜对于材料氮含量的影响	242
(二) 加铜对于材料中碳化物形成的影响	243
(三) 气氛中氢含量对于铜向钢中扩散的影响	243
(四) 加铜奥氏体烧结不锈钢粉末压坯的致密化行为以及成品材料的力学性能	243
二、在真空中进行烧结	244
第三节 加硅的奥氏体烧结不锈钢	247
一、硅添加量对于粉末压制性能的影响	247
二、气氛种类对于材料烧结密度的影响	247
三、氢气气氛中烧结材料的致密化行为	248
(一) 硅添加量对于材料烧结密度的影响	248
(二) 硅添加量对于材料体积收缩率的影响	248
(三) 硅添加量对于材料等温致密化行为的影响	249
四、烧结过程中的差热分析	250
五、利用计算机预测的相平衡	250
六、材料的物理性能和力学性能	252
第四节 加硼的奥氏体烧结不锈钢	252
一、A. Molinari 等的研究情况	252
(一) 烧结温度和气氛对于材料力学性能和致密化行为的影响	253
(二) 纯氢气气氛中 316L 不锈钢粉末压坯烧结的致密化行为和力学性能	254
二、R. Tandon 等的研究情况	257
(一) 烧结温度和添加剂对于烧结体密度的影响	257
(二) 烧结温度和时间对于基体不锈钢强度的影响	257
(三) 硼含量对于材料力学性能的影响	258
(四) 硼的添加形式和数量对于材料显微组织的影响	258
(五) 材料的显微硬度	259
第五节 加铝的奥氏体烧结不锈钢	260
第六节 加碳的奥氏体烧结不锈钢	262
第七节 加镍的奥氏体烧结不锈钢	263
一、耐腐蚀性能	264
二、显微组织	264

第八节 加 Cu_3P 或者 Fe_3P 的奥氏体烧结不锈钢	265
一、烧结致密化行为	265
二、材料的力学性能	266
第九节 加 SiC 的奥氏体烧结不锈钢	267
第十节 马氏体烧结不锈钢	268
一、SS422 型不锈钢粉末压坯的烧结行为	268
二、烧结气氛的作用	269
三、添加硼的烧结强化作用	269
四、添加碳对于材料烧结密度和晶粒尺寸的影响	270
第十一节 铁素体-奥氏体双相烧结不锈钢	271
一、由预合金化粉末和混合粉末制备的铁素体-奥氏体双相烧结不锈钢	271
二、用铜进行强化的铁素体-奥氏体双相烧结不锈钢	272
(一) 烧结致密化行为和材料硬度	273
(二) 材料的磁性能	274
(三) 材料的耐腐蚀性能	274
第十二节 烧结不锈钢的牌号、成分、性能和应用	274
一、各种烧结不锈钢的特性	274
二、300 系列烧结不锈钢和 400 系列烧结不锈钢	275
(一) 300 系列烧结不锈钢材料标准	275
(二) 400 系列烧结不锈钢材料标准	276
三、烧结不锈钢制品的应用	278
参考文献	279
第九章 粉末冶金高速钢中的液相烧结	281
第一节 水雾化-直接烧结粉末冶金高速钢的一般生产工艺	282
第二节 粉末冶金高速钢液相烧结行为的影响因素	283
一、粉末氧含量的影响	283
二、碳化物形成元素的影响	284
三、粉末粒度的影响	285
四、烧结温度的影响	285
五、烧结时间的影响	285
六、烧结气氛的影响	285
七、成形压力的影响	286
八、添加碳的影响	286
第三节 水雾化 Px30 和 Px30S 粉末高速钢	286
一、烧结温度	287
二、材料显微组织特征	288
三、材料晶粒尺寸和化学成分	289
四、初生和共晶碳化物以及碳氮化物的化学成分	292
第四节 T1 粉末高速钢	292
一、烧结特性	293
二、材料的显微组织	294
第五节 高钒粉末高速钢	298
一、在真空和 $90\% \text{N}_2$ - $9\% \text{H}_2$ - $1\% \text{CH}_4$ (体积分数) 气氛中烧结	298
(一) 烧结温度	299

(二) 材料的显微组织	300
(三) 材料的晶粒尺寸	301
(四) 材料的硬度与回火温度的关系	302
(五) 材料的断裂韧性	302
(六) 材料的矫顽力	303
(七) 刀具切削寿命	303
二、在氢气氛中烧结	303
第六节 添加 Cu-P 的粉末高速钢	304
一、烧结机理	304
二、烧结时间对于材料致密化行为的影响	305
三、化学成分对于材料烧结温度的影响	305
第七节 使用 TiC 和 WC 强化的 M2 和 T15 粉末高速钢	306
一、材料的致密化行为与横向断裂强度	307
二、材料的显微组织	309
第八节 添加 Cu ₃ P 和钛基陶瓷化合物的 M3/2 粉末高速钢	309
一、石墨添加量对于材料烧结行为的影响	310
二、TiC、TiN 和 TiO ₂ 添加剂对于材料烧结行为的影响	310
三、TiC、TiN 和 TiO ₂ 添加剂的数量对于材料性能的影响	311
(一) 对于材料硬度的影响	312
(二) 对于材料横向断裂强度的影响	312
(三) 对于材料断裂韧度的影响	313
四、烧结过程中发生的反应	314
第九节 注射成形 M2 烧结工具钢	315
一、热脱粘的影响因素	316
二、烧结致密化的影响因素	316
三、材料性能	317
第十节 粉末冶金高速钢的开发和研究动向	317
一、提高粉末冶金高速钢烧结性能的方法	317
二、材料性能的研究	318
(一) 材料硬度	318
(二) 材料横向断裂强度	318
(三) 材料断裂韧性	320
(四) 添加硬质陶瓷颗粒对于材料性能的影响	320
第十一节 粉末冶金高速钢的牌号、成分、性能和应用	322
一、ASP 高速钢	323
二、CPM 高速钢	323
三、水雾化-直接烧结粉末冶金高速钢	324
四、粉末冶金高速钢的应用	324
(一) 铣削	324
(二) 孔的机械加工	325
(三) 拉削	325
(四) 齿轮加工	325
(五) 其他应用	326
(六) 水雾化-直接烧结粉末冶金高速钢的主要应用	326