

1997 年 中国粉末冶金学术会议 论文集

3083

997

机械工业出版社

1997 年中国粉末冶金学术会议论文集

中国机械工程学会粉末冶金分会 编



机械工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

1997 年中国粉末冶金学术会议论文集/中国机械工程学会粉末冶金分会编. - 北京:机械工业出版社,1997.9

ISBN 7-111-05911-5/T·35

I.19… II.中… III.粉末冶金-研究-中国-文集 IV.
TF12-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 19081 号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:申子善 责任校对:高清德 封面设计:任建生

育文印刷厂印刷

1997 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787×1092mm1/16·22.75 印张·548 千字

0 001—1 000 册

定价:60.00 元

前 言

为贯彻实施“九五”规划和 2010 年发展远景目标纲要,检阅我国粉末冶金学术水平和制造技术水平,发挥学会作用、加强学术交流、促进粉末冶金行业技术进步和发展,为国民经济建设服务,由中国机械工程学会粉末冶金分会、中国金属学会粉末冶金专业委员会和中国有色金属学会粉末冶金及金属陶瓷学术委员会联合主办、由中国机械工程学会粉末冶金分会和北京市粉末冶金研究所承办的 1997 年中国粉末冶金学术会议,于 1997 年 9 月 22~26 日在中国安徽黄山市召开。为方便会议交流,充分体现近年来粉末冶金行业在科学研究、新产品开发与生产实践中的发展和成果,经过紧张的论文征集、论文评审、编辑加工、印刷出版等各阶段工作,在会前献给与会代表和广大读者。

本论文集汇集了 40 个单位共 77 篇论文,共分:评论与综述、试验与研究、粉末与应用、材料与性能、制品与应用、工艺与装备、厂家介绍等 7 个栏目。文集内容基本反映了我国目前粉末冶金行业在科学研究、生产实践和教学的水平及发展状况,对科研、生产、管理、教学和广大粉末冶金工程技术人员具有实用参考价值,对促进我国粉末冶金事业的发展起到推动作用。

杨伟光、黄建忠、易建宏、解子章、徐大涌、曹宝星、杨世红、安锦绣等同志参加了筹备工作,李策、李祖德、孙学广、胡荣泽、贾成厂等同志参加了论文评审工作,本论文集由《粉末冶金技术》编辑部高清德同志进行了审改,任建生同志做封面设计,在此一并致谢。由于时间仓促和水平所限,文中有遗漏和不妥之处,敬请批评指正。

中国机械工程学会粉末冶金分会
北京市粉末冶金研究所
1997 年 7 月

1997 年中国粉末冶金学术会议

主 办 单 位

中国机械工程学会粉末冶金分会

中国金属学会粉末冶金专业委员会

中国有色金属学会粉末冶金及金属陶瓷学术委员会

承 办 单 位

中国机械工程学会粉末冶金分会

北京市粉末冶金研究所

协 办 单 位

北京粉末冶金公司

南京粉末冶金专用设备厂

河北省衡水粉末冶金股份有限公司

长春拖拉机厂威海分厂

瑞气企业空分设备有限公司

加拿大魁北克金属粉末有限公司

南海永联工业资源有限公司

目 录

评论与综述

关于粉末冶金材料制品技术发展及其工业化的意见	吴菊清 隋永江 孙卫权(1)
高比重钨合金研究及军工上的应用	梁容海 熊湘君 王伏生(5)
粉末冶金新材料	王谦 孙卫权 吴菊清(11)
氮化铁磁性液体制备及其应用	刘思林 徐教仁 滕荣厚 于英仪(19)
γ -Fe ₄ N 磁记录介质的制备方法	于英仪 滕荣厚 刘思林 徐教仁 柳学全(22)
钛粉的制备方法及近年来的发展	陈平 梁振峰(25)
光学系统用粉末冶金镀膜	孙本双 宋兴海 刘丽华(29)
摩擦材料发展近况	李文荣 梁梓芳(33)
氮化钛粉末的特性、应用及制取	罗锡山(37)
注射成形与粘结剂	陈强 蔡一湘(41)
电力机车受电弓粉末冶金滑板的发展	苗润海 魏润生(45)
“复关”后中国硬合金工业面临形势及对策	何仲春(50)
美国、日本、欧洲粉末冶金获奖制品分析与介绍	杨伟光 高清德(54)
粉末冶金工业现状及发展	高清德(61)
粉末冶金新技术	高清德(72)

试验与研究

快速凝固 Al-12Fe-1V-2Si 耐热铝合金	高文宁 陈桂云 王国志 张永昌(82)
加 Cr ₃ C ₂ 原位生成 TiC 颗粒增强钛基复合材料	李棟来 梁振峰 张甫政 罗锺 吕春华 斯淑萍(86)
粉末冶金压制方程讨论	周喜生(90)
SHS 等原子比 TiNi 合金性能	郭继红 张小明(96)
Nb 在 Ti ₄₄ Ni ₄₇ Nb ₉ 燃烧合成中的行为	杨华斌 殷为宏 张小明 郭继红 杨宗坡(100)
离心力场中多组元铝热剂的反应特性及模型	段辉平 李树杰 殷声 赖和怡(103)
化学镀 Ni-W-P 金刚石高温下 WC 的生成机制	胡国荣 汤凤林 杨凯华 金继红(108)

粉末与应用

气流雾化法制取铝基钎料粉末系统工艺	杨凯珍 刘福平 葛怀安(111)
机械合金化法制备 Si ₃ N ₄ /Fe 基纳米晶粒复合粉末	孙卫权 吴菊清 李晋 包伟芳(120)
气体雾化制粉技术	李清泉 欧阳通 麻润海(126)
为烧结硬化应用设计的低合金钢粉	F. Chagnon Y. Trudel 言小雄(129)
低电流密度条件下电解制取铜粉	郭海亮(136)
松散微细氧化钴的生产	罗昔贤(144)
利用合金钢冶炼粉尘制取合金钢粉	王克银 王立新(146)
热解反应中渗入氮气对羰基铁粉性能的影响	杨连发 王炳根(151)

材料与性能

- $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiC}_p$ 复相陶瓷及其刀具切削性能的研究 何京彦 夏志华 赵昌森 李群(156)
- 烧结材料离子氮碳共渗层相组成与组织性能的研究 印红羽 苏学宽(161)
- 粉末冶金摩擦材料钢背的探讨 谭明福 周云(167)
- 高强度烧结钢材料与工艺、设计与应用
..... V. Arnhold K. Dollmeier W. Kynast 李孜(172)
- 钼粉氧含量与钼合金顶头硬度的关系 蒋海斌 周娅莉(176)
- 高性能粉末冶金千斤顶螺母材料的研究 杨金娣 张少令 李煜芳 倪瑞澄(179)
- 激光烧结铜基粉末材料的磨损性能 郭作兴 胡建东 李玉龙 孙志钢 于春生(184)
- 烧结镍基多孔材料的研究 高家诚 张延楷 梁建斌(187)
- 铬镍合金粉末母合金对烧结钢性能的影响 王克银(191)
- 超细 Al_2O_3 颗粒增强铜基复合材料的显微结构
..... 梁淑华 范志康 时惠英 袁森 魏兵(194)
- WC—Co 硬质合金 γ 相的 X 射线结构分析 刘寿荣 刘宜(199)
- 复合材料制造参数的快速优化方法 王翔(204)
- 热处理对 97W-Ni-Cu 重合金性能的影响 张继忠(208)

制品与应用

- “ITO”靶材的常压烧结研究 陈明飞 黄栋生 吴义成(211)
- 粉浆挤压螺旋状直热式海绵钨钼阴极钨骨架的试制 李增锋 兰涛 张报 吴引江(214)
- 烧结不锈钢止火管 张德明 金家敏(217)
- 牙轮金刚石修整滚轮的研究 黄华(221)
- 青铜多孔过滤元件无模烧结技术研究 包伟芳 王滨 金家敏(224)
- 心脏外科用烧结不锈钢气体分散器的研制 余培良 吴振芳 陈宽(229)
- 金刚石圆锯片综合定量评价方法 谭益钦 杨凤环 罗锡裕(235)
- $\Phi 105$ 大型硬质合金六面顶锤的研制 钟明扬 王茂青 彭文(238)
- 制面机出面齿轮的研制 叶汉龙(243)
- 内燃机烧结阀座材料的研制 高仲达 李慧云(248)
- 钢结硬质合金模具的冷热加工及应用 徐玉秀 夏玉海(251)
- 硬质合金梯度结构顶锤 栗大林(255)
- 高钨合金砧块使用中问题与工艺因素分析 颜月娥 王伏生(261)
- 粉末冶金材料及其制品在小型风冷柴油机上的全方位应用 吴庆定 闵淑辉 曾卫(264)
- 铁基粉末冶金汽缸涨圈的返烧处理 丁爱民(268)
- 提高钢领物理性能的研究 刘多俊(270)
- 起重机用铜-钢复合滑环的研制 陈刚 陈可生 李超 苗毅(278)
- 粉末冶金钢领透气性初析 杨智辉(280)

工艺与设备

- SHS-离心法制备复合管材 殷声(284)

新成型剂的热脱脂研究·····	周继承	黄伯云	吴恩熙	于利根	曲选辉(288)
燃烧合成大尺寸试样 AlN 的研究 ·····	陈克新	葛昌纯	李江涛(291)		
圆盘机制备钨合金球工艺研究·····	王伏生	熊湘君	梁容海(295)		
Fe 基复合粉末的爆炸喷涂 ·····	赵军	贾成厂	李智聪	解子章(299)	
TiB ₂ 自蔓延高温合成的正交试验研究·····	白佳声	J. V. Wood(302)			
渗铜烧结碳钢的热处理·····	董颐	占云高(305)			
粉末爆炸烧结制备 TiAl 基合金的探讨 ·····	陈一鸣	温金海	吕海波	罗序明(308)	
汽车粉末冶金零件激光烧结及其应用 ·····					
·····	胡建东	郭作兴	关庆丰	沈平	周喜生
烧结 Re-Fe-B 永磁体制造工艺与配方的研究方案 ·····	李传健	王新林	王凤荣(316)		
高密度材料温压工艺的关键参数 ·····	S. ST-Laurent	F. Chagnon	言小雄(318)		
V3N 钢超硬模具在粉末冶金上的应用 ·····	马素娟	周体和(327)			
搅拌式超细磨机的设计与应用·····	杨国琪	李森蓉	王辉雄(330)		
粉末冶金模具快走丝线切割精度的分析与研究·····	李建忠	丁燕	蔡一湘(337)		
冲床用液压下拉式脱模机构·····			吴永祥(341)		
弹簧浮动阴模压坯横向裂纹的成因与消除·····			莫盛秋(343)		

厂 家 介 绍

北京市粉末冶金研究所·····	(345)
加拿大魁北克金属粉末有限公司·····	(347)
长春拖拉机厂威海分厂·····	(349)
瑞气企业·····	(350)
南海永联工业资源有限公司·····	(351)

评论与综述

关于粉末冶金材料制品技术发展及其工业化的意见

吴菊清 孙卫权

隋永江

(机械工业部上海材料研究所) (上海大学材料科学与工程学院)

1 概述

粉末冶金是制造金属粉末和利用金属粉末(包括非金属化合物和含有非金属的复合粉末)制造机械工程材料、功能材料及其异型制品的工艺和技术。它能制造出用传统的熔铸和加工方法所不能制成的、具有独特性能的材料和制品,并能同时完成材料及其制品的制造过程,故它还是一种“节能、省材和高效生产”的新技术。

上海粉末冶金技术由老一辈粉末冶金工作者开创,经过 40 多年辛勤努力,已在粉末冶金机械零件、减摩材料、摩擦材料、多孔材料、难熔金属和合金、电触头材料、薄膜电阻材料、高性能磁性材料、不锈钢、高速钢、各种硬面材料、硬质合金、储氢材料、精细陶瓷、微晶和非晶态材料等方面,取得了可喜的科研成果和工业成就,在为上海的工业配套生产和解决国家重要领域中的技术难关等方面作出了重要贡献。

改革开放以来,上海粉末冶金行业引进了一批国外的先进设备和技术,出现了一些中外合资企业,更促进了上海粉末冶金材料、技术的迅速发展。如上海粉末冶金厂形成了 4000t/a 精还原铁粉的能力,粉末冶金零件与主机配套的年生产能力为:桑塔纳汽车 60 万辆、摩托车 100 万辆、家电 100 万台、电动工具 30 万台套;上海瑞典赫格纳斯(中国)公司完成了第一期年产四个品种水雾化铁粉 7000t 的能力,第二期发展为 14000t/a;上海司太立(美)公司使用了英国的 Osprey 技术,形成了高性能硬面喷焊粉末 300t/a 以上的生产能力;上海友申(美)电器有限公司生产的 AB₅ 型稀土储氢合金粉与正、负极片已成功地用作高质量镍氢电池,并与稀土永磁电机配套,成功地用于电动自行车上,正迅速推进产业化;上海地区生产银基触头材料达 50t/a 左右,硬质合金的生产能力为 400t/a 左右,美国肯纳金属公司拟在浦东筹建硬质合金生产厂,其投资在千万美元以上。此外,稀土钴、快淬 NdFeB 和磁钢都在生产和发展中;超声气雾化和高压水雾化技术得到了发展和应用, - 400 目不锈钢细粉收得率达到 40~60%,并已形成了 100t/a 的细粉生产能力,为金属粉末注射成形制品和微晶合金材料制品的开发和生产创造了条件。

近十多年来,由于相关技术的相互渗透和结合,更赋予了粉末冶金技术新的活力,其中最引人注目的是超细粉制造技术、快速凝固制粉技术、金属粉末注射成形技术和粉末热成形技术。超细粉和纳米晶粉的开发和应用,使材料的电、磁、光、热、力学性质和表面物性发生特异的变化,大大改善了常规材料的性能并发展了许多新材料,逐步实现材料品种多样化和系列化。金属粉末注射成形技术的开发和应用,使模压成形无法生产的复杂形状(交叉孔、带螺纹和薄壁形等)机械零件得到了生产。粉末热成形中,粉末锻造技术经过 20 多年的发展,已在汽车发动机连杆、链轮等高强度结构零件上得到了应用;粉未经包套直接热挤成材的工艺已在制取无偏析微晶高速钢上获得了生产应用。

2 选择依据

粉末冶金对生产精密机械零件和制造高性能材料起着重要作用,具有“高效、节能、省材”和无环境污染的优点。世界粉末冶金制品的生产一直保持快速增长的势态,据 80 年代粉末冶金制品销售额统计,其增长率比世界经济增长率高 4 倍;据我国近 10 多年来的统计,粉末冶金制品的年增长率保持在 20% 左右。尤其引起重视的是,世界工业发达国家发展了超细粉技术、快速凝固技术、金属粉末注射成形技术和粉末热成形(粉末锻造、粉末包套热挤成材)技术,已形成和正在形成新的产业。

超细粉技术已成为世界工业先进国家科技发展的重点,涉及的材料面广,如各种矿料、金属、非金属及其化合物、金属-非金属复合材料,并努力实现超细材料产业化,明显提高了物料的商品价值(比常规的高数倍至数十倍)。我国虽已开展超细材料的开发,但仍有不少产品需要进口。在金属材料方面,如用作多刃刀具的超细晶($<0.5\mu\text{m}$)高强度金属陶瓷材料、加工中心用的无偏析微晶高速钢。我国工模具的用材量大,如高速钢年需 3.2 万 t 左右;金属陶瓷年需要量约 4000t;模具用钢约 12 万 t。采用超细或微晶合金材料代替常规材料,用于刀具可提高寿命数倍至数十倍;用于模具可提高寿命数十倍至数百倍,平均 1t 合金粉可取代 80~90t 模具钢。

金属粉末注射成形技术能制得用常规粉末模压技术无法制造的带有螺纹、垂直或交叉孔、锐角的复杂形状结构零件和薄壁零件,并达到材质各向同性和更好的强韧度。美、日等国已在 80 年代末期实现产业化,产值达亿美元水平,其年增长率达 50~70%。目前已用于生产铁基、铜基、不锈钢、高速钢、镍基合金、蒙乃尔合金、金属陶瓷和精细陶瓷等复杂形状精密机械零件和工模具。我国金属粉末注射成形技术多属试验阶段,亟待实现产业化。

粉末锻造技术能制得致密的、疲劳性能更好的复杂形状零件,与常规模锻技术相比,还具有耗能低、无飞边、模具寿命长、节材和投资费用低(约为 20%)等优点。美、日等国已用于汽车发动机连杆和同步器齿壳等典型复杂形状零件的生产,我国尚属空白。就连杆而言,若按上海年产四缸发动机中级轿车(4 只/辆)30 万辆和六缸发动机高级轿车(6 只/辆)15 万辆、每只连杆 200 元计,就可建造一个年产 4.2 亿元产值的粉末锻造连杆专业生产厂。

粉末包套直接热挤压工艺生产的无偏析微晶高速钢,可用于制造刀具和模具。与常规熔铸高速钢相比,除了可明显提高使用寿命外,还具有热处理变形小,可磨削性能好等优点,可明显降低刀具、模具的加工费用。工模具在机械加工工业中的用量很大,故无偏析微晶高速钢有巨大的潜在市场。

镍氢电池被誉为一种公认的绿色能源而受到世界各国的高度重视。它与镍镉电池、铅蓄电池相比,具有最大的比能量($60\sim65\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$)和比容量(比镍镉电池高 40~50%);在电池的生产、储存、回收、处理过程中无环境污染;具有优良的充、放电性能和高的寿命。目前上海已成功地制造出密封型镍氢动力电池,并装配在电动自行车和轻便型电动摩托车上。对于电动自行车电池组,10A·h 电池一次充电行程达 35km;20A·h 电池为 75km。如采用人机协同控制系统,一次充电行程还可增加 60~70%。轻便型摩托车有 84V20A·h 电池组,在车速为 30~50km/h,一次充电行程 80km,故应加速产业化。

快速凝固制造微晶贮氢合金粉,是性能稳定的贮氢合金粉有效的大批量生产方法,从而能制造高容量贮氢合金电极和性能稳定的镍氢电池。

3 发展趋势

根据美、日、西欧等粉末冶金工业先进国家的发展情况,常规粉末冶金技术已实现了制粉、成形、烧结、整形工艺的自动化生产和严格的产品质量控制。我国目前已开始在引进的基础上,采取仿制和中外合资的方式生产这些自动化生产设备。在结构零件用材方面,国外主要发展扩散合金

粉和水雾化预合金钢粉,从而使粉末冶金材料的性能向中强度和高强度方向发展。由于粉末锻造传动齿轮、连杆、同步器齿壳等零件的生产,形成了数以亿美元计的年产值,并还在发展之中。在形状复杂的粉末冶金制品方面,如带有凹槽、凹角、双向倒锥、交叉孔、内外螺纹、横截面突变、超薄壁形、翼形等各种复杂形状的零件和制品,常规模压成形已无法生产,国外现已发展了金属粉末注射成形技术,在研究成功了高压气雾化快冷制取 $<20\mu\text{m}$ 的细粉、快速脱蜡技术及其连续式烧结炉后投入了生产,业已形成了数亿美元的年产值,预计到2000年将超过20亿美元。

世界粉末冶金材料发展中最引人注目的是超细粉末材料,著名科学家钱学森说:“纳米左右和纳米以下的结构将是下一阶段科技发展的一个重点,会是一次技术革命,从而将引起21世纪又一次产业革命”。在金属材料方面,西欧、美、日、前苏联等已实现产业化的材料,如微晶无偏析粉末高速钢,其年产量不断增加,从数百t、数千t到上万t,主要用于多刃刀具(如齿轮刀具、铣刀、拉刀等)、加工中心用刀具和模具。烧结致密高速钢采用 $12\mu\text{m}$ 细粉,其抗弯强度可提高将近一倍,达到4.5GPa。超细晶粒金属陶瓷:瑞典 $<0.3\mu\text{m}$ 超细晶高强度材料已投入生产,并已进入中国市场,其强度比我国生产的相同成分的要高一倍以上;美国建立了20~50nm的WC-Co粉专业化生产公司(Nanodyne Inc.),美RIW公司生产了晶粒尺寸为 $0.1\sim0.2\mu\text{m}$ 的金属陶瓷,其硬度HV为相同成分的136%,用于制成微型钻头,大大提高了使用寿命;金属-陶瓷(化合物)纳米晶复合材料,正在大力开发之中,如Al、Cu、Ni等金属-金属或非金属化合物、金属间化合物的纳米晶复合材料,已能制成块材,再经轧制、拉拔、热锻等工艺制成薄材、丝材、棒材,其室温、中高温的硬度、强度和塑性得到了明显提高,甚至提高数倍。

在功能材料方面,快速凝固微晶合金粉、超级稀土永磁材料将会得到迅速的发展。这是因为城市摩托车(汽油)量的增加,已造成严重的环境污染。上海市内摩托车拥有量超过50万辆,亟待短期内采用电动车代替。镍氢电池和超级永磁电机是当前用于电动自行车和摩托车的最佳选择。可以预见,电动摩托车的生产必将促进电动汽车的发展。

4 开发目标

4.1 粉末锻造技术及其高强度汽车零件生产

掌握预合金钢粉的制取和粉末锻造技术,以汽车发动机连杆和同步器齿壳为主攻对象,使粉末锻材的性能达到:抗拉强度 $900\sim1100\text{MPa}$;屈服强度 680MPa ;伸长率12%。引进必要的先进生产设备,建立年产210万只连杆和180万只同步器齿壳的粉末锻造专业生产厂,为上海年产30万辆中级轿车和15万辆高级轿车配套。基此,再扩大到传动齿轮的生产。

4.2 金属粉末注射成形技术及其制品的生产

通过高压水雾化和超声气雾化制粉技术、快速脱蜡技术的研究,制得小 $20\mu\text{m}$ 的系列合金细粉,材质密度达到93~100%理论密度,具有比常规粉末冶金技术所制得材料更高的强韧度。选择一批复杂形状结构零件为对象,开展小批量中试生产。基此,逐步降低细粉成本和提高细粉得率,根据市场的发展,组建复杂形状制品的金属粉末注射成形专业生产厂。

4.3 无偏析微晶高速钢及其在刀具、模具和机械零件上的应用和生产

通过高压水雾化、超声气雾化制粉技术和包套热挤压技术、烧结致密技术的研究,使粉末性能达到:氧含量 $<4\times10^{-4}$ (水雾化)和 $<1\times10^{-4}$;材料性能达到:碳化物晶粒 $<5\mu\text{m}$ 、不均度 ≤1 级,硬度 $60\sim70\text{HRC}$,抗弯强度 $>2.5\text{GPa}$ (挤压)和 $>5.0\text{GPa}$ 。选择齿轮刀具、拉刀、叶根铣刀、螺杆铣刀和耐磨耐热机械零件为对象,与有关工具厂合作,进行刀具制造及其使用性能研究,使刀具寿命比常规高速钢高1~4倍。不断开发在模具和机械零件上的应用,经过中试生产,形成一定市场,在此基础上组建年生产能力达500t的微晶高速钢专业生产厂。

4.4 纳米晶超细粉和高性能金属陶瓷工具材料的开发生产

通过纳米晶超细颗粒碳化物粉末(如 WC、TiC、TaC、Cr₃、Cr₂、VC 等)制粉技术和高性能超细晶粒金属陶瓷制造技术的研究,制得 20~50nm 晶的超细粉末,相应制得金属陶瓷的晶粒尺寸 $<0.4\mu\text{m}$,其材料性能与相同成分的材料相比:硬度 HV 高 20~30%,强度高 20%以上,刀具寿命高一倍以上。基此,建立年产 t 级的纳米晶超细粉生产装置和相应的高性能金属陶瓷材料的装备,形成小型生产线,进而发展强度高 100%以上的材料并扩大生产能力。

4.5 纳米晶超细金属-陶瓷复合材料粉末及其应用研究

通过制粉技术的研究,重点掌握金属(如 Fe、Cu、Al、Ni 等)-陶瓷(如碳化物、氮化物等)复合材料粉末、金属-金属间化合物(Al₃Ti、Ni₃Al、Fe₃Al 等)粉末的特性及其在提高材料性能中的作用。第一步先在材料改性中得到应用;第二步研究金属-陶瓷、金属-金属间化合物复合材料的制造技术及其适用于中试生产的设备,选用合适的使用对象,进行产品使用性能研究,获得良好可靠的应用效果,然后考虑生产设备和产业化的工作。

4.6 快速凝固微晶贮氢合金粉末的生产

贮氢合金材料的研究和应用在我国已有 20 多年的历史,涉及国内许多省市的科研单位、高校和工厂,取得了许多很好的成果并达到很高的水平。由于开发生产系统小而分散,材料性能无法达到均匀一致和稳定,严重影响动力电池的生产。因此,迫切需要解决贮氢合金材料的规模生产,实现材料性能的均匀一致和稳定生产。采用快速凝固雾化制粉是一个大批量制取微晶贮氢合金粉的有效方案。根据国外厂商的生产规模(如年生产能力达 600~2500t)、上海市场预测和快速凝固雾化制粉的设备条件,建议建立年产 500t 贮氢合金粉的生产厂。

此外,自蔓燃合成(SHS)制粉技术、表面涂覆陶瓷和金属化合物技术的产业化也应予以积极考虑。

高比重钨合金研究及军工上的应用

梁容海 熊湘君 王伏生

(中南工业大学粉末冶金国家重点实验室粉末冶金研究所)

高比重钨合金是一种以钨为基(钨含量为 82~98%),并加入镍、铁、铜、钴、锰等元素组成的合金。自本世纪 30 年代高比重钨合金问世以来,由于其优异性能而得到迅速发展及广泛应用,其主要特性:

(1)密度高:一般为 $16.0 \sim 18.8 \text{ g/cm}^3$,相当于钢密度的 2 倍以上,有“高比重钨合金”或“重合金”之称;

(2)强度高:烧结态的高比重钨合金抗拉强度一般为 $580 \sim 950 \text{ MPa}$,添加某些微量元素,可进一步改善某些性能,经加工变形后其强度可达 1300 MPa 以上;

(3)良好的塑性:对于 93W-Ni-Fe 系列而言,其伸长率达 20% 以上,冲击韧度右达 $1.5 (\text{MJ/m}^2)$ 左右;

(4)良好的射线吸收能力:比铅高 30~40%,且有较好的刚性,使用中不易变形;

(5)耐腐蚀性和抗高温氧化性能良好:对酸有良好的耐腐蚀能力,在 500°C 以下无明显氧化,在 800°C 下或更高温度下仍能保持较好的强度与硬度;

(6)良好的机加工性能:可进行车、铣、磨、刨、钻、攻丝等机加工,可攻 M2 的螺纹;

(7)良好的导电性、导热性和低的热膨胀系数;其导热系数是模具钢的 5 倍,热膨胀系数只有铁或钢的 $1/2 \sim 1/3$,且具有耐电蚀、耐高压等电性能;

(8)良好的可焊接性及表面电镀性:可采用铜焊、银焊料进行钎焊,合金表面也可进行电镀,如镀铬、镀镍、镀金等,与基体结合牢固。

鉴于高比重钨合金具有上述一系列特性,所以已广泛地用作航空、航天、兵器、舰艇等军事工业中的重要零部件,同时也广泛地应用在机械、电器、仪表、冶金等工业部门。

1 高比重钨合金简况

国内高比重钨合金研究始于 60 年代初。我校自 1964 年研制出 W-Ni-Cu 系高比重钨合金后,迅速应用于航空航天等工业部门。目前国内已有数十家科研院所、工厂从事高比重钨合金研究与生产,其中主要的院所所有中南工业大学粉末冶金研究所、北京有色金属研究总院、冶金部钢铁研究总院、北京矿冶研究总院、四川成都冶金研究所、上海钢铁研究所、兵器部 52 所等,主要工厂有株洲硬质合金厂、自贡硬质合金厂、兵器部华山机械厂、北京工具厂等。所生产的品种已走向系列化和标准化,部分产品性能达到国际先进水平。高比重钨合金现已有 W-Ni-Cu、W-Ni-Fe、W-Ni-Co、W-Ni-Mo 等多个系列产品,应用较广的还是 W-Ni-Cu、W-Ni-Fe 二大系列产品。为提高或改善高比重钨合金某一特性,在合金中添加少量或微量的第 4、第 5 种其它元素,如 Mn、V、Ti、Ta、Zr、Pa、Cr、Y、Nb、B、Si、Sn、Al 等,国内外已进行过大量的研究工作,并取得一定的成效。目前国内已建成若干生产基地,形成一定的生产规模,已具有年产近千 t 高比重钨合金的生产能力。所生产的 W-Ni-Cu 及 W-Ni-Fe 系高比重钨合金,除满足国内市场需要外,还有部分产品打入国际市场,但大都属军工专用,需求量有限,产量有限,设备能力未能发挥,国内外市场有待进一步开发。

2 高比重钨合金研究

为满足国防建设需要,我校于 60 年代初开始研究高比重钨合金,为研究高性能的制品,进行了

如下的一些工作。

2.1 混料工艺对合金性能的影响

在混料工艺中,从事过机械混料去、高能球磨法(机械合金化)、二次热解还原法、二次湿法置换包复法、氧化物共还原法等。

2.2 成形压力对合金性能的影响,主要是高钨含量时,成形压力对制品性能的影响。

2.3 烧结工艺对合金性能的影响,如:烧结气氛、冷却速率、阶段烧结等。

2.4 金属元素及其对比对合金性能的影响

如:加入 Ni、Fe、Cu 及 Ni:Fe 比值、Ni:Cu 比值对合金性能的影响,另外,加入 Mn、Ag 使其改变膨胀系数,加入 Sn 及稀土元素(氧化镧等)使其改善塑性及强度。

2.5 工艺方法及后处理对合金性能的影响,如真空处理、热锻加工等。

2.6 机理研究,探讨合金微观组织、结构与性能关系。

2.7 新合金材料及应用方法的研究

根据市场的需要研究出各种新型合金材料。为加速推广应用,我们和用户共同协作,共同研究了陀螺转子材料的加工及动平衡调试、传感器材料和电热加工模具材料等及焊接技术、电热锻粗工艺参数等。

高比重钨合金典型的液相烧结机理,成形压力对最终烧结制品密度无明显影响。随着单位面积压制压力的提高,压块烧结后的收缩率降低。据我们的研究,在烧结过程中必须保证产生一定的液相量,其中 $w_{Ni} > 3\%$ 时,合金的最终密度与成形压力无明显关系。当 $w_w > 96\%$ 时,镍含量越少,镍铜比(或镍铁比)越少,则成形压力对烧结后合金密度的影响越来越明显。

高比重钨合金中钨含量直接影响合金性能,随着钨含量的提高,合金的强度、伸长率、冲击韧度等相应降低,合金的硬度值有所提高,具有图 1~2 所示的规律性。从图 1 看出,当钨含量在某一范围内,其强度最理想,表明其粘结相所形成的 W-Ni-Cu(或 W-Ni-Fe)固溶体具有最佳的强化效果,使 W 晶粒之间的粘结相的厚度为最佳厚度,过高或过低均不利强度的提高。研究表明,当合金钨含量为 90~96% wt 范围内, Ni:Cu(或 Ni:Fe)比值在 1~3,其合金的强度为最佳范围。图 3a、b 为我们研制的 93W-Ni-Cu 与 93W-Ni-Fe 的断口形貌照片,从照片看出, W-Ni-Cu(或 W-Ni-Fe)固溶体均匀地分布在钨晶粒周围,粘结相呈延性断裂,为典型的蜂窝状结构。从 W-Ni-Cu 断口形貌看出有少量钨晶粒的穿晶断裂,呈扇形撕裂状(图 3a),而 W-Ni-Fe 合金断口形貌

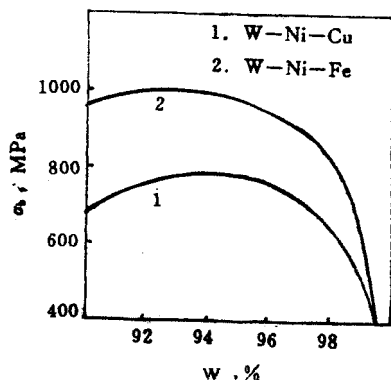


图 1 W 含量与抗拉强度的关系

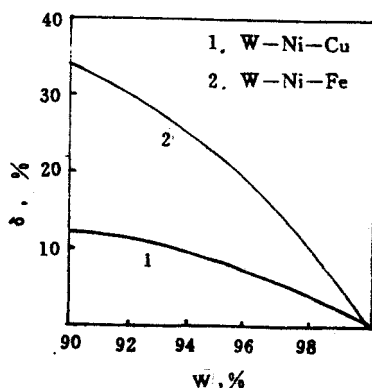
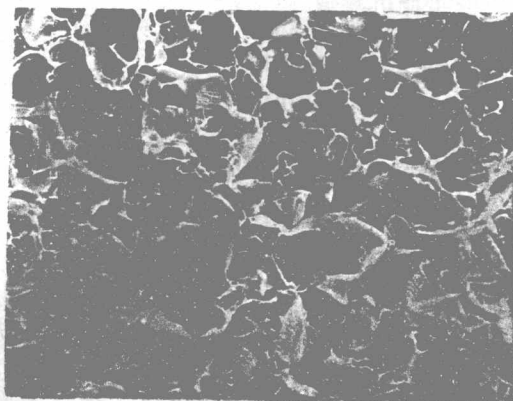


图 2 W 含量与伸长率的关系

表 1 93W 合金的性能表

合金系列	密度 $\rho/\text{g/cm}^3$	抗拉强度 σ_b/MPa	伸长率 $\delta(\%)$	硬度 HRC	冲击初度 $/\text{MJ/m}^2$
93W-Ni-Fe	17.3~17.8	≥ 880	≥ 10	≥ 26	≥ 0.69
93W-Ni-Cu	17.3~17.8	≥ 680	≥ 2	≥ 22	≥ 0.20



a) 93W-Ni-Cu

b) 93W-Ni-Fe

图 3 钨合金断口形貌图

中,出现较多的钨晶粒穿晶断裂(图 3b)。从表 1 看出,二者的力学性能有明显的差别,93W-Ni-Fe 的力学性能明显高于 93W-Ni-Cu。Ni-Cu、Ni-Fe 均能形成无限固溶体,W 在 Ni-Cu、Ni-Fe 中均有一定的溶解度,但难溶于 Cu,只能形成 W-Cu 假合金。显然,W 在 Ni-Fe 中的溶解度高于 Ni-Cu 中的溶解度。对于相应组分相同的二种合金,一般 W-Ni-Fe 的烧结温度高于 W-Ni-Cu 约 100℃ 以上,随着烧结温度的提高,W 在粘结相中的溶解度增加,因此,所形成的 W-Ni-Fe 固溶体量高于 W-Ni-Cu 固溶体量。前者固溶强化效果更理想,有较高的物理力学性能。由于 W-Ni-Fe 具有磁性,广泛地应用于兵器工业作侵入体的杀伤破片,有较大的杀伤力,而 W-Ni-Cu 基本上不具有磁性,广泛地应用于导航陀螺的外缘转子体及各种仪表材料等。图 4 系我所研制与生产的部分钨合金制品,表 2 系我所生产的各种钨合金牌号、性能、用途简介。

3 高比重钨合金在军事工业中的应用

3.1 航天及航空工业中的应用

高比重钨合金在航天、航空工业中的应用,国外始于本世纪 40 年代,国内始于 60 年代。高比重钨合金在陀螺仪的应用,使导航技术得到迅速发展,陀螺仪的精度与稳定性同回转质量成比例关系,铜或钢陀螺外缘转子体的精度与稳定性均较低,美国在第二次世界大战中已采用 90W-6Ni-4Cu 代替铜(或钢)作外缘转子,其角动量提高 70% 以上,仪表的精度与稳定性显著提高。导航陀螺仪是各种卫星、火箭、导弹、飞机、潜艇、鱼雷等导航和控制系统的核心部件,目前,尽管涌现出各种先进的导航技术,而陀螺仪仍是世界上应用最广泛的一种导航仪表。解剖某飞行器发现,航向陀螺、垂直陀螺及速率陀螺等均采用高比重钨合金作外缘转子。

表2 高比重钨合金牌号、成分、性能及应用范围

牌 号	合金成分(%)					状态	密度 $\rho/\text{g}/\text{cm}^3$	抗拉强度 σ_b/MPa	延伸率 (%)	硬度	应用范围
	W	Ni	Cu	Fe	Mo						
W164	90	6	4			烧结	≥ 17.0	680~830	3~10	240~320HB	陀螺外缘转子、重锤、配重、体育器材配重、放射性容器、X-射线屏蔽材料、调速器、离心离合器、电动机减震器、工具振动阻尼块、镗杆
W173	90	7	3			烧结	≥ 17.0	680~830	3~10	240~320HB	
W163	91	6	3			烧结	≥ 17.2	700~830	3~7	250~320HB	
W143	93	4	3			烧结	≥ 17.4	730~850	2~6	260~320HB	
W152	93	5	2			烧结	≥ 17.5	730~850	2~6	260~320HB	
W132	95	3	2			烧结	≥ 18.0	650~800	1~5	280~330HB	除陀螺外缘转子体外, 其它与上述用途相同
W131	96	3	1			烧结	≥ 18.1	600~800	1~4	290~330HB	
W121	97	2	1			烧结	≥ 18.4	≥ 450	0.5~3	300~340HB	
W111	98	1	1			烧结	≥ 18.6	≥ 400	0.5~3	300~340HB	
W264	90	6	4			烧结	≥ 16.9	780~930	≥ 20	$\geq 22\text{HRC}$	
W273	90	7	3			烧结	≥ 16.9	780~930	≥ 20	$\geq 22\text{HRC}$	穿甲弹心、杀伤破片、重锤、配重、放射性容器、X-射线屏蔽材料、调速器、离心离合器、电动机减振器、工具振动阻尼块、镗杆、高压触头、电铍粗用砧块
W263	91	6	3			烧结	≥ 17.1	800~950	≥ 13	$\geq 24\text{HRC}$	
W243	93	4	3			烧结	≥ 17.4	830~980	≥ 15	$\geq 26\text{HRC}$	
W252	93	5	2			烧结	≥ 17.5	830~980	≥ 15	$\geq 26\text{HRC}$	
W232	95	3	2			烧结	≥ 18.0	750~900	≥ 10	$\geq 28\text{HRC}$	
W231	96	3	1			烧结	≥ 18.1	700~900	≥ 8	$\geq 28\text{HRC}$	金属压铸用模具材料
W221	97	2	1			烧结	≥ 18.4	≥ 600	≥ 5	$\geq 29\text{HRC}$	
W211	98	1	1			烧结	≥ 18.6	≥ 500	≥ 4	$\geq 30\text{HRC}$	
W2424	90		2	4		烧结	≥ 17.2	≥ 890	≥ 4	$\geq 24\text{HRC}$	

注: W-Ni-Fe 系合金经加工处理后, 其抗拉强度可提高 300~400MPa。

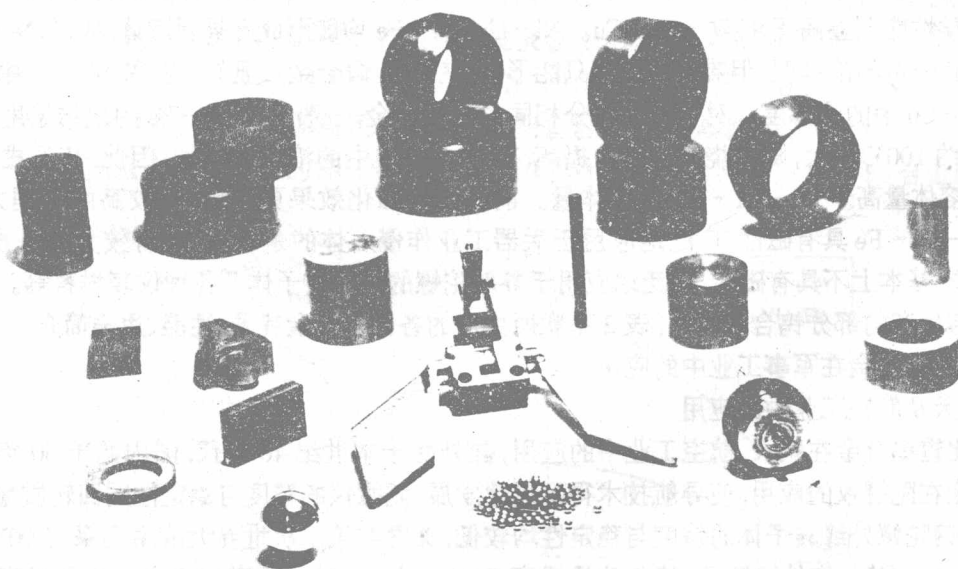


图4 部分高比重钨合金制品

在航天、航空工业中,高比重钨合金还可作平衡块、减震器、飞机及直升飞机的升降控制和舵的风标配重块,自动驾驶仪及方向支架平衡配重块,飞机引擎的平衡锤,压仓平衡块等,“斯贝”发动机上用四种牌号五种规格的高比重钨合金,主要用作托架配重、摇杆转速控制器配重块,燃油调节转控器配重块等。某些类型的飞机中采用数百 kg 钨合金作配重。

为克服卫星的晃动现象,我国某些卫星姿态仪常采用高比重钨合金球起到章动阻尼作用,使卫星章动阻尼剩余章动角减少至 0.1° 以下,达到国际先进水平。

3.2 兵器工业中的应用

兵器工业中常采用高比重钨合金作为侵入体的杀伤破片,常规武器中作为大口径动能穿甲弹弹芯材料、机枪脱壳穿甲弹弹芯、枪弹和航炮弹用的弹头材料、杆式动能穿甲弹弹芯以及战术导弹中的杀伤破片等,随着军事工业的发展、坦克设计的进步、新型装甲复合壳体的出现,必须研制穿甲威力高的穿甲弹。国内外在研究小弹径,大长细比的弹丸结构上已取得了可喜的进展。随着火炮口径及膛压在不断地增加,要求高比重钨合金不但具有高密度、强度,同时具有高的韧度,才能保证杆式动能穿甲弹具有更高的发射强度与穿甲威力。但钨合金材料随抗拉强度增加,伸长率和冲击韧度却降低,这一矛盾已被国内外专家较好解决了,高比重钨合金强韧度的配合满足了对弹丸材料越来越苛刻的要求,也促进了材料科学的发展。在各种子母弹及导弹中,有的一颗弹中装有数百 kg 钨合金弹丸材料,具有强大的攻击能力与大的杀伤面。钨基合金在兵器工业的其它方面也得到广泛应用:如在鱼雷、舰艇、坦克等兵器中采用作陀螺外缘转子体、配重等部件材料,兵器工业是目前国际上钨合金用量的消耗大户。

3.3 在核工业中的应用

金属材料吸收 X 及 γ 射线的能力与其密度成正比例关系。以前,人们广泛采用铅作屏蔽材料。铅的比重为 $11.3\text{g}/\text{cm}^3$,而钨合金在 $17\text{g}/\text{cm}^3$ 以上,因此比铅对 X 和 γ 射线的吸收能力更理想,此外铅材质软,易用刀切开,而钨合金硬度高,对射线的屏蔽效果是铅的 1.5 倍以上,因而钨合金是理想的核燃料贮存容器与防辐射的屏蔽材料。W-Ni-Fe、W-Ta 合金具有高熔点、良好的冲击韧度、高塑性和低屈服强度,可以用来制造薄壁形大链套壳体,作为原子能爆炸时用的功能复合材料,保证仪器的正常工作。钨合金的许多优异性能是其它材料无法比拟的,在高科技应用领域及军事工业中的地位越来越重要。

4 展望

高比重钨合金具有一系列优异性能,已成为某些尖端科技领域及国防工业中的关键材料或重要零配件,在民用工业中也得到推广应用。为进一步促进钨合金的发展,应加强以下几方面工作:

1) 开拓市场、扩大应用领域

目前高比重钨合金主要应用在军事工业上,尽管民用工业也有较快的推广应用,但毕竟还小。我国属钨资源大国,可是在高比重钨合金产量上与美国相差较大。美国在 70 年代需要量超过 1000t;目前我国约 200~300t 吨左右,而且不稳定。国外已广泛应用在机械制造、仪表工业、医疗器械、电热加工、模具制造等工业部门,而且在体育器材方面也得到广泛应用。标枪头、重箭箭头、高尔夫球杆的把头镶嵌着高比重钨合金,对提高体育竞技水平起到了重要作用。航海模型船仓的压载体,对保持航模的平稳起到关键作用。钨合金应用市场潜力很大,有待开发。

2) 扩大品种、发展深度加工

目前国内外广泛使用 W-Ni-Fe 及 W-Ni-Cu 两大系列产品。国内对其它系列的产品有所研究,但品种、规格不齐。同时,由于钨合金制品大量以材料毛坯供货,使机加工量增加,造成很大浪费,如:杆式动能穿甲弹芯,其机加工切削量达到 40% 以上。因此提高毛坯精度和材料利用率、