

中国工程科技论坛

粉末冶金科学与 技术发展

● 中國工程院



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

中国工程科技论坛

粉末冶金科学与技术发展

Fenmo Yejin Kexue Yu Jishu Fazhan



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

粉末冶金在保障国防安全与武器装备制造中具有重大作用,同时在支撑国民经济发展与经济建设中发挥了重要作用。粉末冶金科学与技术发展前沿论坛是应粉末冶金新材料、新技术、新理论、新应用迅猛发展的需要而召开的,具有十分重要的战略意义和现实意义。

论坛以“引领粉末冶金发展,开拓高端领域应用”为主题,结合我国粉末冶金发展现状,探讨我国与世界粉末冶金科学与技术重点发展方向。论坛指出新兴国家的粉末冶金发展迅速,但北美洲和欧洲的国家仍然具有明显优势;我国已成为硬质合金、铁基合金等典型粉末冶金产品的产量大国,但技术水平和产品附加值仍需进一步提高。本书精选了论坛大会报告中10多位粉末冶金学术界与工业界知名人士的稿件,也代表了本次论坛的高层次水平。

本书系中国工程院“中国工程科技论坛”系列丛书之一,可供粉末冶金科技工作者及材料领域的工程技术人员与管理人员参考,也可作为粉末冶金专业本科生与研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金科学与技术发展 / 中国工程院编著. -- 北京: 高等教育出版社, 2013.7

(工程科技论坛)

ISBN 978-7-04-037738-5

I. ①粉… II. ①中… III. ①粉末冶金-技术发展-文集 IV. ①TF12-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 134440 号

总策划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖

责任编辑 朱丽虹 沈晓晶

封面设计 顾 斌

责任印制 韩 刚

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印 刷 北京汇林印务有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 10.5

字 数 190千字

插 页 1

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

版 次 2013年7月第1版

印 次 2013年7月第1次印刷

定 价 60.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 37738-00

中国工程科技论坛第151场——粉末冶金科学与技术发展前沿论坛

2012.11 中国·柳州·长沙



中国工程科技论坛——粉末冶金科学与技术发展参会人员合影（2012.11）

编辑委员会

主 任：黄伯云

副主任：熊 翔

委 员：刘 咏 赵慕岳 刘祖铭

熊拥军 邹俭鹏

目 录

第一部分 综述

综述	3
----------	---

第二部分 主题报告及报告人简介

中国粉末冶金发展现状	黄伯云	9
高性能铁基粉末冶金材料及制备技术的现状与发展趋势	周科朝	21
TiO ₂ 压敏陶瓷的晶界偏析	易健宏	36
高性能金属结构件的激光立体成形	黄卫东	52
废弃有色金属的再生及其高端应用	聂祚仁	60
表面无立方相梯度硬质合金梯度层形成的实验研究及计算机模拟	杜 勇	70
化学气相沉积在难熔金属材料中的应用	周武平	83
铍及铍合金技术进展	钟景明	97
硬质合金刀具涂层的现状及发展方向	邓 玲	107
网状结构硬质合金界面钴相迁移过程研究	张忠健	126
粉末冶金多孔材料的最新进展	汤慧萍	135
铜及铜合金粉末产业与技术发展现状及展望	汪礼敏	145

附录 参会人员名单	157
-----------------	-----

后记	161
----------	-----

第一部分

综 述

综 述

一、论坛背景

2012年11月23~25日,由中国工程院主办,中国工程院化工冶金与材料工程学部、中南大学粉末冶金国家重点实验室、中国材料研究学会粉末冶金分会等承办的中国工程院第151场工程科技论坛在湖南长沙中南大学国际报告厅召开。中国科学技术协会副主席、中国材料研究学会理事长、中国工程院黄伯云院士担任论坛主席。

论坛结合我国粉末冶金发展现状,探讨我国粉末冶金材料与技术重点发展方向,设大会场和“粉末冶金铁铜基材料与制品”、“难熔金属材料与高温合金”两个分会场。中国工程院化工冶金与材料工程学部副主任屠海令院士,中国工程院外籍院士、美国工程院院士 C. T. Liu 教授,中国工程院刘业翔院士,中国科学院金展鹏院士、葛昌纯院士,法国工程院吕坚院士,吉林大学校长李元元教授,中南大学副校长周科朝教授,昆明理工大学副校长易健宏教授,广东有色金属研究院副院长刘敏教授,长江学者、西北工业大学凝固技术国家重点实验室主任黄卫东教授,长江学者、北京工业大学材料学院院长聂祚仁教授,长江学者、国家杰出青年科学基金获得者、中南大学粉末冶金国家重点实验室杜勇教授,安泰科技股份有限公司周武平副总裁,西北稀有金属材料研究院国家钽铌特种金属材料工程技术研究中心主任钟景明教授,中国工程院一局谢冰玉局长、王爱红处长、宋玮玮博士等与来自国内外的40余家高校、科研单位、企业的120多名代表出席了论坛。

中国科学技术协会副主席、中国材料研究学会理事长黄伯云院士致开幕辞,他介绍了粉末冶金在航空航天、装备制造、能源与交通工业、地矿资源加工等领域所取得的重要成果,本次论坛专家、学者云集,规模宏大,将进一步推动粉末冶金新材料与新技术的发展。中国工程院屠海令院士讲话指出,中国工程科技论坛已成为中国工程院最具学术影响力的品牌活动,对于中国工程科技的发展及青年专家的培养起到了良好的推动作用,粉末冶金在保障国防安全与武器装备制造中具有重大作用,同时在支撑国民经济发展与经济建设如航空航天工业、机械制造业等方面发挥了重要作用。目前,粉末冶金科学与技术迅猛发展,新材料、新技术不断涌现,应用范围急剧拓展,粉末冶金基础理论研究迅速发

展,因此,召开本次论坛具有十分重要的战略意义和现实意义。

二、论坛成果总结

(一) 推进粉末冶金新理论、新技术、新材料不断发展

在大会报告中,黄伯云院士作了题为“粉末冶金科学与技术发展现状”的报告,对当今世界及我国粉末冶金现状与趋势作了深刻阐述,对欧洲、北美、亚洲粉末冶金发展状况进行了深度分析,指明新兴国家的粉末冶金发展迅速,但北美洲和欧洲的国家仍然具有明显优势;我国已成为硬质合金、铁基合金等典型粉末冶金产品的产量大国,但技术水平和产品附加值仍需进一步提高,为我国今后粉末冶金理论与技术发展指明了方向。报告还指出现代粉末冶金材料与技术发展迅猛,一系列新的粉末冶金技术正在不断涌现,包括喷射沉积、快速凝固、温压成形、注射成形、挤压成形、爆炸成形、激光烧结成形与三维(three dimension,3D)打印等。

大会安排了两个会专题报告阐述粉末冶金新理论迅速出现的状况,包括 C. T. Liu 院士作的题为“新型纳米强化超高强度钢之设计”的报告,阐明了计算材料学(Computational Material Science)对设计含多种元素(>10)的超高强度钢有巨大的帮助,纳米团簇强化的粉末冶金/机械合金化(powder metallurgy/mechanical alloying, PM/MA)钢具有极佳的高温性能和韧性,纳米颗粒强化超高强度钢(ultra high strength steel, UHSS)具有极佳的强度以及粉末冶金(powder metallurgy, PM)工艺在生产含稳定氧化纳米团簇和晶粒细化的新型铁素体钢方面独具功能。杜勇教授作的题为“梯度硬质合金及耐磨涂层的计算模拟和实验验证”的报告,将 CALPHAD、第一性原理和相场模拟等多种计算方法相结合,探讨新型硬质合金和涂层材料研发的可行性并且快速合理地确定实验制备的合金成分和工艺参数,再加以 X 射线衍射(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)、透射电子显微镜(TEM)和纳米压痕等检测技术对材料结构和力学性能的研究与验证,最终可以得到具有优良性能和较高实用价值的新型硬质合金和涂层材料。这种计算模拟指导实验制备进行材料设计的方法必将在未来高性能材料的研发中发挥巨大的作用。

大会还安排了 5 个报告论述粉末冶金新技术迅猛发展的现状,葛昌纯院士、刘敏副院长及周克崧院士、李元元校长、黄卫东主任、周武平副总裁分别作了题为“喷射成形 FGH4095 高温合金盘件制造及性能研究”、“新型热喷涂技术及其应用前景”、“放电等离子烧结合成钛基复合材料的研究”、“高性能金属结构件的激光立体成形”和“化学气相沉积在难熔金属材料中的应用”的报告。上述报

告指出,目前,铸、锻、焊、粉末冶金等各种传统技术都被努力发挥到近于极限,但由于其各自的技术原理所带来的根本性限制,依然难以满足高精度、高性能、高柔性、复杂薄壁等极限化需求,这常常成为制约瓶颈。上述几种粉末冶金新技术,为解决同时满足上述多方面高端需求的难题提供了新的技术途径。这些技术在医学植入体、船舶、机械、能源、动力领域复杂整体构件的高性能制造和快速修复等领域也都有广阔的发展前景。

此外,有 5 个专题报告剖析了我国粉末冶金新材料的发展现状,包括吕坚院士、周科朝教授、易健宏教授、聂祚仁教授、钟景明教授分别作的题为“高强高韧金属纳米材料研究新进展”、“高性能铁基粉末冶金材料及其制备技术的发展现状与趋势”、“粉末冶金技术在贵金属领域中的应用”、“废弃难熔金属的再生及其高端应用”、“铍及铍合金技术进展”的报告。上述研究成果指出高性能粉末冶金材料以高密度、节材、节能、高效、低成本的工艺特点和优良的综合力学性能,成为国民经济、重大工程、国家安全、战略性新兴产业的支撑材料和基础材料,但是其关键材料和核心共性技术亟待突破,需要粉末冶金从业人员的不懈努力、大胆创新、协同配合,显著提高我国粉末冶金材料的技术性能水平,解决国家高端装备制造业和重要领域的亟需!

(二) 推动粉末冶金中青年专家的学术成长

为了发挥粉末冶金中青年专家的作用,论坛安排了两个分会场专题探讨铁铜基材料与制品、难熔金属材料与高温合金及其他粉末冶金新材料、新技术、新工艺,邀请了一批长江学者、国家杰出青年科学基金获得者作分会场报告,报告内容丰富且有深度,为我国中青年专家的学术成长提供了很好的环境。邀请专家包括在美国通用公司工作 10 余年的国家第一批“海外高层次人才引进计划”江亮教授、2011 年国家科学技术进步奖一等奖获得者(排名第一)长江学者赵中伟教授、中南大学材料科学与工程学院院长梁叔全教授、国家杰出青年科学基金获得者范景莲教授、硬质合金国家重点实验室常务副主任张忠健研究员、东睦新材料集团股份有限公司曹阳副总经理、北京有色金属研究总院有研粉末新材料(北京)有限公司汪礼敏总经理、金属多孔材料国家重点实验室常务副主任汤慧萍教授、国防科学技术大学周新贵教授等。

(三) 促进粉末冶金学术界与企业界的合作交流

粉末冶金具有典型行业背景,涵盖学术界和企业界的广大业内同行,目前中国有 7 个一级学会(协会)设有粉末冶金分会,论坛按国内外粉末冶金技术的发展趋势、粉末冶金基础理论、粉末冶金新技术与新工艺、铁铜基材料与制品、难熔

金属及硬质合金、磁性材料、摩擦及减摩材料、纳米晶非晶材料、特种陶瓷及其复合材料 9 个研究方向进行了广泛征文,得到了全国粉末冶金工作者的热情支持和积极参与,内容丰富,涉及范围广,比较全面地反映了全国粉末冶金行业的最新学术和技术成果。在会议期间,同时召开了中国粉末冶金六学协会理事长、秘书长和代表的联席会议暨中国材料研究学会粉末冶金分会第一次理事会,会议由中国科学技术协会副主席、中国材料研究学会理事长黄伯云院士主持,葛昌纯、李元元、易健宏、刘敏、熊翔、刘咏、赵慕岳、曹阳、周武平、钟景明等出席。在中国粉末冶金各界人士的共同努力下,争取到举办 2013 年亚洲粉末冶金会议,特别是得到了举办 2018 年的世界粉末冶金大会的举办权,这是全国粉末冶金工作者的共同心愿。2013 年的亚洲粉末冶金大会举办在即,这得依靠大家的共同努力。而 2018 年的世界粉末冶金大会举办为时甚早,但也应积极筹备,争取办成一次高水平的世界粉末冶金会议。

(四) 扩大中国工程科技论坛影响

中国工程科技论坛是我国工程科技交流的重要平台,在中国工程院的支持下,本次论坛结合我国粉末冶金材料及技术与国外有较大差距、国防工业和国民经济发展继续的先进粉末冶金材料尚不能满足需求的现状,在湖南长沙中南大学召开粉末冶金科学与技术发展前沿论坛。论坛的成功举办,系统地总结了我国粉末冶金的发展现状及存在的问题,深入探讨了未来的发展方向,明确了今后的发展目标。

第二部分

主题报告及报告人简介

中国粉末冶金发展现状

黄伯云

中南大学粉末冶金国家重点实验室

摘要:中国是一个正在实现工业化的发展中国家,其粉末冶金工业始于 20 世纪 50 年代。中国粉末冶金经过几十年的努力,在材料及其制品的研究开发与规模化生产等方面都取得了重大进展,已成为世界粉末冶金制品生产大国之一。然而,中国粉末冶金行业在生产高附加值产品、降低能耗、实现可持续发展等方面还有大量的工作要做。本文综合论述了粉末冶金高技术新材料和传统粉末冶金产业的发展现状与方向,重点介绍了中国相关粉末冶金产业。

关键词:粉末冶金;粉末冶金工业;研究开发

一、引言

中国现代粉末冶金工业虽然起步较晚,但经过近半个世纪的发展,中国在粉末冶金领域的多个方面已成为世界的粉末冶金大国。粉末冶金制品也取得了长足进步,其中硬质合金的产量 2005 年为 14 400 t,2013 年产量增加到 22 500 t,约占世界总产量的 40%,其中出口量达 5000 t,居世界第二。2012 年我国人造金刚石产量达 120 亿克拉(注:1 克拉=0.0002 kg),约占世界总产量的 95%,我国已成为世界金刚石工具生产大国,其产量的 1/3 用于出口。钎铁硼的产量占世界总产量的 70%。我国已在粉末冶金材料的应用、粉末冶金技术开发等方面取得了长足的进步,粉末冶金新材料为我国航空航天、核工业、重大军事工程、机械制造、交通运输等工业的发展已做出重大贡献。

二、铁基、铜基粉末及其制品

(一) 发展历史

1952 年,上海纺织机械厂建立了中国第一条纺织机械用铜基粉末冶金含油轴承生产线;1961 年北京天桥粉末冶金厂的成立和 1965 年上海粉末冶金厂还原铁粉生产线的建立,标志着中国铁基粉末冶金工业步入正常发展的轨道。

20 世纪 80 年代初期,武汉钢铁公司建成年产 5000 t 还原铁粉生产线,随后形成了 1 万 t 还原铁粉的年生产能力。1987 年,鞍山钢铁公司从德国引进雾化铁粉制造技术,形成 5000 t 优质雾化铁粉的年生产能力。自 20 世纪 80 年代后期开始,中国铁基粉末冶金零件行业如上海粉末冶金厂、宁波东睦粉末冶金公司等,通过装备引进和技术改造,使产品质量大幅度提高。

(二) 钢铁粉末与铜基粉末

最近几年是中国钢铁粉末的高速发展时期(图 1),2005 年的实际铁粉总量已超过 20 万 t。在制造的钢铁粉末中,2011 年我国雾化铁粉产量为 12.79 万 t,在钢铁粉末中的比重约为 36.7%。其中,山东莱芜钢铁集团粉末冶金有限公司已具备年产 4 万 t 雾化钢铁粉末的生产能力。随着中国对高性能铁基粉末冶金零件需求的增加,雾化铁粉的比重将持续提高。为了满足用户对铁粉性能的需要,在铁粉品种方面,已摆脱单一纯铁粉供应的局面,开始批量生产部分预合金钢粉末和预混合粉。2011 年,我国铁基粉末总产量 34.78 万 t,比 2010 年增加 8.2%。我国钢铁粉末产量已与北美相当,占世界总产量的 22%;全国铁粉生产厂家估计有 50 家。由于汽车制造业的飞速发展,预计我国钢铁粉末年产量很快将达到 50 万 t。

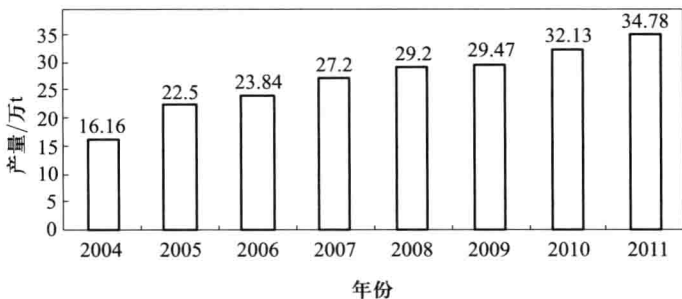


图 1 近年来我国铁粉产量统计

铜基粉末主要包括纯铜粉和铜合金粉末两大类。图 2 为 2002—2010 年中国主要铜粉生产企业的电解铜粉产量的变化,从中可以看到 2002 年我国铜基粉末产量达到 8400 t 以上,2008—2010 年产量基本维持在 40 000 t 以上,2012 年铜及铜合金粉末产量约 43 000 t,居世界第一。2011 年我国汽车和家电行业用的铜粉量达 16 000 t,“十二五”期间汽车按 5% 的速度增长,到 2025 年我国汽车产量将超过 2300 万辆,每辆汽车粉末冶金制品用量达到欧洲水平,仅汽车用铜粉量将达到 32 000 t。另外,水雾化铜粉的表面处理技术已投入纯铜粉的生产。

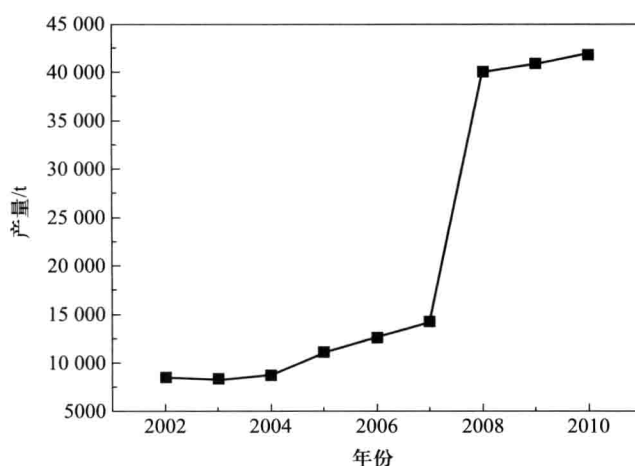


图2 我国铜粉末生产状况

(三) 铁/铜基粉末冶金零件及其应用

中国自2002年以来铁基粉末冶金零件产量如图3所示。特别是2001—2004年,粉末冶金零件的年增长率在20%以上。这种快速增长与中国汽车工业的发展紧密相关。2011年我国铁基粉末冶金制品产量为16.1万t,成为亚洲最大的铁基制品生产基地。

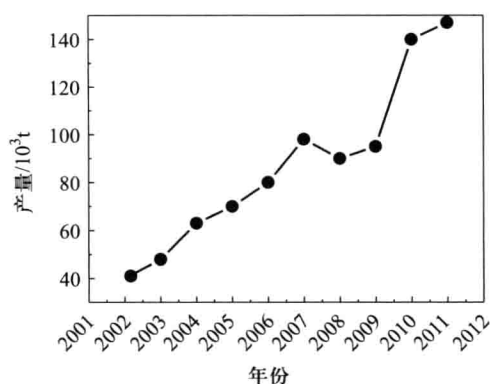


图3 我国铁基制品生产状况

目前中国制造的汽车中使用粉末冶金零件在5 kg/辆左右。在未来5年中,若每辆汽车使用粉末冶金零件增加2 kg,按年产1800万辆计算,2011年我国汽车产销量达1863万辆,预计在现有基础上汽车用粉末冶金零件将增加3.6万t,汽车用粉末冶金零件总量将达20万~30万t。