

金属之光

4

中国科学院金属研究所
2016年 第4期 (总第179期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH, CHINESE ACADEMY OF SCIENCE



金属所正式成为瑞士ABB公司
热喷涂技术领域合格供应商

出版日期：2016年5月

《MRS Bulletin》发表“金属材料中的孪生”特刊

4月1日,《MRS Bulletin (美国材料研究学会公告)》发表了题为“金属材料中的孪生(Twinning in Metallic Materials)”的特刊。来自美国、中国、德国、加拿大、澳大利亚及日本等活跃在本领域的30余位学者应邀就纳米孪晶金属的制备、强化与塑性、疲劳断裂与蠕变、孪晶金属的原位纳米力学行为、六方金属变形孪生及孪生诱导塑性钢的设计等六个研究方向展开论述,详细介绍了这些方向的最新研究进展,并对纳米孪晶金属的发展进行展望。金属所沈阳材料科学(国家)联合实验室卢磊研究员和卢柯院士应邀分别为特刊撰写了纳米孪晶金属的制备以及强化与塑性部分。

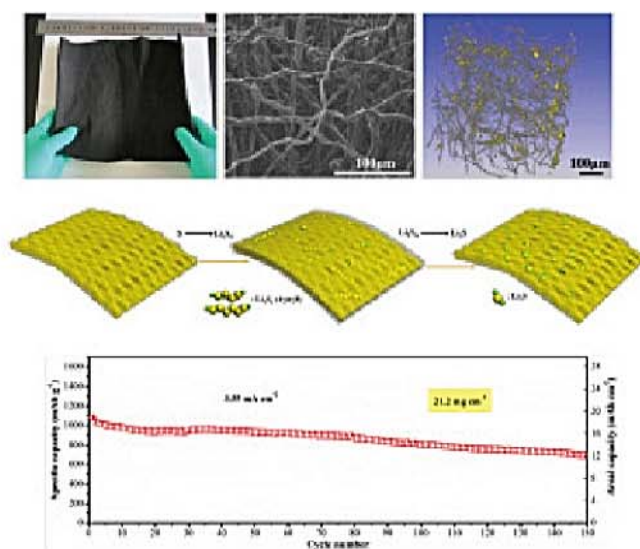


金属中纳米孪晶的强化效应是由沈阳材料科学(国家)联合实验室研究人员于2004年在国际上首次发现。他们在纯Cu中成功制备出高密度纳米孪晶结构,发现纳米孪晶Cu具有高强度的同时,还有优异的综合力学性能(拉伸塑性加工硬化能力等)、物理性能(高导电性)和使役行为。近年来他们系统研究了纳米孪晶金属材料的独特强化机制及变形机制,相关研究成果曾入选“2009年度中国基础研究十大新闻”,获得“2014年辽宁省自然科学一等奖”。在这些研究工作的推动下,纳米孪晶金属已成为国际材料研究领域的热点之一,目前全球已有多个国家几十家著名研究机构开展此方向的研究。

超高面容量的锂硫电池： 来自棉花的三维空心泡沫碳纤维/硫正极

随着移动电子设备、电动汽车及可再生能源的飞速发展,对高容量电池的需求日益迫切,新型高密度电化学储能系统的开发受到高度关注。锂硫电池具有很高的理论比容量(1675 mAh g^{-1})和能量密度(2600 Wh kg^{-1}),同时由于硫单质具有储量丰富、价格低廉等诸多优点,被视为最有发展前景的下一代高能量电化学储能系统之一。然而基于多电子反应的锂硫电池,其反应复杂性决定了在充放电过程中,会形成可溶于电解液的多硫中间产物,产生“穿梭效应”,造成不可逆容量损失,同时由于硫的导电性差,导致了硫正极的循环寿命短、容量衰减快等技术瓶颈。

碳材料具有优异的导电性、丰富的孔结构和极高的化学稳定性,因此发展碳/硫复合电极材料被认为是



三维空心碳纤维泡沫照片, 三维空心碳纤维泡沫与硫/多壁碳纳米管/炭黑纳米团簇形成的复合结构SEM和XRM分析、示意图及其电化学性能

提高锂硫电池性能的有效途径之一。然而，多数研究工作中报导的碳/硫复合电极中，硫的面密度比较低（小于 2 mg cm^{-2} ），从而导致碳/硫复合电极较低的面容量，甚至低于商用锂离子电池 4.0 mAh cm^{-2} 的水平，而严重制约了锂硫电池的实用化进程。

最近，中国科学院金属研究所先进炭材料研究部以天然棉花为前驱体，经过高温碳化，制备出具有高导电性的三维空心碳纤维泡沫，然后将硫/多壁碳纳米管/炭黑纳米团簇填充在纤维空隙间，获得了硫的面密度最高可达 21.2 mg cm^{-2} 的三维空心碳纤维泡沫硫正极。该碳/硫复合电极可提供兼具短程和长程的多级导电网络，从而实现较高的硫利用率。同时该工作提出了抑制“穿梭效应”的一个新思路：利用空心碳纤维

泡沫对电解液超高的吸液率，使其在吸收电解液的同时，也将溶于电解液的多硫化物限制在正极区域，阻止了多硫化物向负极的扩散，从而有效抑制了“穿梭效应”，保证了良好的循环稳定性。因此，硫面密度为 21.2 mg cm^{-2} 的复合电极，具有高达 $23.32 \text{ mAh cm}^{-2}$ 的初始面容量，在循环150次之后，可实现70%的容量保持率。该工作不仅展示了以天然物质为原料制备高导电性碳材料的方法，并提出了抑制锂硫电池“穿梭效应”的新思路，为开发高性能高容量的锂硫电池开辟了新的途径。

相关论文发表于Advanced Materials（DOI: 10.1002/adma.201506014）。

金属所正式成为瑞士ABB公司 热喷涂技术领域合格供应商

近年来，金属所热喷涂课题组在热障、封严、耐磨涂层等领域的研究与应用工作取得了长足的进步，课题组一直坚持科研与生产紧密结合的发展道路，在完成科研与生产任务的同时积极开展热喷涂技术向高端领域的应用工作。2015年开始，课题组与瑞士ABB公司合作开展增压器系统中喷嘴环、涡轮叶片和蜗壳等部件耐磨涂层的先期研发工作，先后通过了该公司全球供应商资质认证、现场审查、工艺审核和涂层样品检验与确认等系列审查，2016年5月课题组被正式确定为该公司热喷涂技术领域合格供应商，瑞士ABB公司专家对金属所热喷涂涂层制备技术、研发能力和完善的质量体系给予了充分肯定。这是继获得德国西门子公司合格供应商资质后，金属所热喷涂技术又一次被国际知名公司所认可。

瑞士ABB公司是全球电力和自动化技术领域的领导企业，产品广泛应用于工业、能源、电力、交通和建筑等行业，其业务遍布全球100多

个国家，拥有15万名员工，是全球500强企业之一。今后，双方将针对零部件表面耐磨涂层生产工作进入实质性合作阶段。



装备制造类成果推广

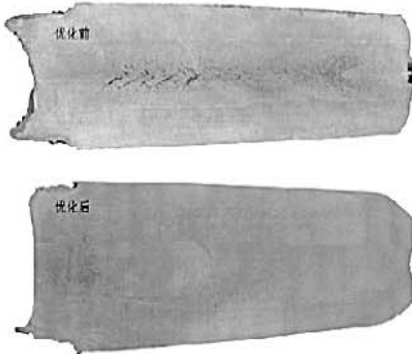
大型钢锭缩孔、疏松、A偏析及沉积锥夹杂物等控制技术

技术简介及应用领域

大型钢锭缩孔疏松、A偏析以及沉积锥夹杂物等缺陷严重影响了钢锭的内在质量，大大降低了钢锭的合格率以及材料的利用率。本项目通过计算机模拟技术、稳态热冒口技术以及纯净化控制技术，成功消除了100t级钢锭的内在缩孔疏松，大大减轻了钢锭的A偏析以及钢锭底部的沉积锥夹杂物缺陷。提高了钢锭的内在质量，同时将钢锭的利用率提高5%。

技术特点（包含主要技术指标）

大型钢锭缩孔、疏松、A偏析及沉积锥夹杂物等控制技术，在于通过计算机模拟技术、稳态热冒口技术以及纯净化控制技术消除钢锭内部的缩孔疏松，使钢



锭内部的缩孔疏松达到1级以上，钢锭的成分偏析控制在1.5%以内，定型偏析控制在1级以内。同时消除钢锭底部的沉积锥处的大型夹杂物，使钢锭的材料利用率提高5%，进而提高材料的合格率。

创新要点

本发明涉及大型钢锭领域，具体为一种高质量、高成材率钢锭制备方法，也就是一种消除钢锭内部缩孔缺陷及减轻底部负偏析的方法，涉及0.5-600吨所有级别金属模大型钢锭的铸造过程，应用于真空和非真空条件下碳钢和合金钢锭的铸造过程，对各种黑色合金材料钢锭的质量与成材率都有提高作用。

合作方式

技术入股

技术转让

联系人

项目负责人：傅排先

电话：024-23971127

邮箱：pxfu@imr.ac.cn

超大断面立式连铸实心与空心钢锭

技术简介及应用领域

采用立式连铸方法生产直径大于Φ600mm的铸坯，具有生产效率高、材料利用率高、组织致密等优点。可用于生产轴类件、环类件、筒类件等。尤其是采用大断面空心连铸钢锭可缩短环类件和筒类件的生产流程，提高生产效率，大大降低成本。本技术可应用于高端轴类零件制造，如车辆传动轴、台阶轴，空心类零件可用于齿圈以及核电、火电用压力容器筒类锻件，配套重大工程关键装备。

技术特点（包含主要技术指标）

目前大型钢锭的制备方法主要是模铸法，利用金



属模具，采用上注或下注方法进行浇注，金属液在钢锭模中凝固。这种方法生产的钢锭存在严重的偏析、夹杂、缩孔疏松问题，钢锭平均利用率不足60%。而且采用模铸法制备大型钢锭生产周期长、效率低、能耗高。中国科学院金属研究所开发了一种大型钢锭连铸技术。该技术是将金属液连续浇注到水冷结晶器中，钢水在水冷结晶器中凝固，并通过引锭装置不断将凝固部分由下端拉出，实现钢锭的连续铸造。利用连铸方法生产的钢锭，由于冷却强度大、凝固时间短，钢锭基本没有偏析缺陷，夹杂和缩孔疏松缺陷也较轻微，可以满足锻造要求。连铸钢锭减小了模铸钢

锭冒口和锭尾的切除量，使钢锭利用率提高到85%以上。同时，采用连铸方法生产钢锭，可以提高生产效率，实现节能减排。一套设备达产后，可以年产钢锭10万吨，产值8亿元以上。

合作方式

技术入股

技术转让

联系人

项目负责人：栾义坤

电话：024-23971127

邮箱：ykluan@imr.ac.cn

高品质宽厚板坯制备技术与装备

技术简介及应用领域

大型宽厚板坯是重大工程的基础母材，我国当前特厚板的市场需求在500万吨/年以上，年产值近千亿。由于对铸坯心部质量要求高，常规连铸和模铸钢锭无法满足使用要求，我国特厚钢板一直依赖从德国迪林根、法国阿赛洛、日本JFE进口，价格十分昂贵。中科院金属所经过技术攻关已突破宽厚板坯制备技术，可生产优质特厚板坯。其应用范围覆盖石化及锅炉压力容器，高端热作、冷作、塑料模具，海洋工程用钢（齿条钢、甲板钢等）、冶金机械、桥梁建筑等民用与国防领域。产品厚度规格范围可覆盖厚度为20-60mm的中厚板以及60-500mm的特厚钢板。

技术特点（包含主要技术指标）

采用金属所研发的成套技术与装备，可开发400-1000mm厚度的宽厚板坯，材料利用率达85%以上；宽厚板坯锻造或轧制后，保证超声波探伤满足欧标EN10160要求的S1级和GB/T2970探伤标准的2级以上水平。每条生产线可年产宽厚板坯5万吨以上，创造产值5亿元以上。金属所开发的高效宽厚板坯制备技术，采用多梯度稳态热冒口、高温自补缩工艺、等离子加热装置和微区振荡技术制备宽厚板坯，减少了偏析、缩孔疏松缺陷，提高了生产效率，可以为宽厚板轧钢生产线提供合格板坯，缓解并逐步解决目前我国

宽厚板轧制能力过剩与宽厚板坯供应不足之间的矛盾，满足大型钢铁企业对宽厚板铸坯的迫切需求，项目实施将加快传统产业的技术升级改造，并加快高附加值新产品生产线的建设，为促进钢铁行业的调整与振兴发挥积极作用。

合作方式

技术入股

技术转让

联系人

项目负责人：栾义坤

电话：024-23971127

邮箱：ykluan@imr.ac.cn



化腐朽为神奇

——记腐蚀科学与工程耕耘者韩恩厚



4月24日是第六个“世界腐蚀日”。当天，辽宁省科学技术馆迎来了一场以“走进腐蚀世界 营造健康生活”为主题的世界腐蚀日科普活动。

此前不久，在加拿大举办的世界腐蚀组织（WCO）全体会员代表大会上，中科院沈阳分院院长、中科院金属所研究员韩恩厚当选WCO主席，成为该国际组织历史上首位华人主席。

韩恩厚在2016年国际腐蚀工程师协会（NACE International）上获得了世界腐蚀科学领域的最高奖——Willis Rodney Whitney奖，成为获此奖项的首位华人科学家。

梅花香自苦寒来。腐蚀科学是一门比较古老的学科，但是对国人来说却较为陌生。实际上腐蚀却与国计民生息息相关，在国际科学界也倍受重视。韩恩厚能够当选WCO主席并获奖，意味着中国的腐蚀科学与工程研究已经跻身世界前列。

被人忽视的腐蚀之害

对于很多人来说，腐蚀科学是一个比较陌生的字眼。那么，腐蚀到底有什么危害呢？或者说，研究腐蚀科学对人类有哪些帮助呢？

腐蚀是由材料与环境之间发生的化学与电化学反应



纳米复合涂料应用于变电站

造成。相关数据显示，由于腐蚀问题付出的成本（通常人们称为腐蚀损失）在各国每年的GDP中平均约为3.4%，而中国约达到5%的比例。

2015年，中国的国内生产总值达到67.67万亿元人民币，“也就是说，按照5%估算，去年我国因为腐蚀问题付出的成本超过3万亿元，这是一个相当惊人的数字。”韩恩厚向《中国科学报》记者介绍。

“举个最简单的例子。当年三峡大坝修建时，选择用什么样的混凝土材料很重要。因为它需要长期浸没在土壤之中，会被不断腐蚀。如果选择的材料不到位，就有可能影响大坝的安全。”韩恩厚表示，我国腐蚀界的老科学家们早就在三峡等地埋下了不同的混凝土材料，每过一段时间（如2~8年等），科研人员会去当地记录腐蚀数据。故此，在修建大坝时，中国的腐蚀科学研究者发挥了重要作用。

来自国际组织的认可

既然腐蚀的危害性如此之大，那么国际上有没有相关的组织进行专门的科普、呼吁工作呢？

WCO就是这么一个组织。它是经过联合国认定的非政府组织，其使命是推动和促进腐蚀控制的教育和实践，为取得社会效益与经济效益、节约资源、保护环境作贡献。那么，对于该组织未来几年的工作，韩恩厚有哪些设想呢？

“首先，我们希望结合世界腐蚀科学家的力量，加大科普力度，增加政府、商业组织、民众对腐蚀的重视程度。其次，我们希望围绕腐蚀对水体、土壤的污染编写相关的白皮书，推动形成全世界可供参考的标准化应对腐蚀的模板。此外，我们也希望建立腐蚀领域的世界范围内的专家库，方便为政府决策、重大工程的安全保障提供参考，同时也希望能够加快推动腐蚀领域相关标准的出台。”韩恩厚表示，WCO将围绕尽量减少腐蚀对国民经济、人类健康、生态环境造

成的损失来进行。

“新官”上任，目前韩恩厚的工作十分忙碌。每个月都要和WCO的人员进行越洋电话沟通，并撰写相关报告。

持续不断的突破

中科院金属所的一个重要研究方向就是材料腐蚀尤其是金属材料的腐蚀研究。作为国家金属腐蚀控制工程技术研究中心主任、中科院核用材料与安全评价重点实验室主任，韩恩厚为金属所的这支强大腐蚀团队感到骄傲。在此前由中科院组织的国际专家评估中，金属所被评价为世界上最大、同时也是世界一流的防腐蚀研究机构。

“在读硕士时，我就和防腐蚀结下了不解之缘，如今在这个领域已经有30多年积淀。”韩恩厚表示，自己的科研生涯基本都与腐蚀科学与工程相关。

1997年前后，纳米科学方兴未艾，当时在麻省理工学院任职的韩恩厚就敏锐地注意到了它的前景。回国后经过潜心研究，在材料与结构的腐蚀控制技术方面，他成功研发出纳米复合涂料，可以大幅度提高传统防腐蚀材料的性能，已授权发明专利32项，“纳米氧化物浓缩浆与纳米复合涂料”荣获国家技术发明奖二等奖，该技术目前已经在国内飞机的关键构件上得到了大批量使用。在远洋运输的大型船舶上，比如40万吨级的油轮甲板上，也已经成功用上了韩恩厚团队的这项技术。

“我们研发的纳米复合涂料目前也应用于电网系统，通过南北多地的验证，证实对极端天气的腐蚀灾害可起到有效防护，目前正待进一步推广。”韩恩厚说。

韩恩厚的另外一项有关镁合金防护的技术，也在国内外颇有影响。镁合金因为其比重极轻和资源丰富，被视为一种非常有前景的材料，但它本身极易被腐蚀，成为影响其规模应用的关键瓶颈。韩恩厚团队的技术，可以有效降低镁合金材料的腐蚀，被美国评为国际一流水平。在此前嫦娥工程中，已经有数百个

部件用到镁合金，而这些构件中所有的防腐蚀技术，都是由韩恩厚团队来完成。这项技术目前也已经在民用汽车领域得到大规模应用，装车数百万辆。

在工程结构的服役安全评价与寿命评估预测方面，韩恩厚也颇有建树。依托于建立的强大的腐蚀数据库，加上精确地建立了实验室加速试验方法并提出腐蚀损伤动力学模型，能够有效计算出某种材料在实际服役环境下的腐蚀情况。“我们的工作有点像算命先生，不过不是给人算命，而是给各类材料结构尤其是金属材料结构算命，有时候还要延长其使用寿命。”韩恩厚说。

近些年来，随着国家对于能源问题的重视，核电发展大幅度加速，也由此带来了大众对于核电安全的担忧。韩恩厚紧跟国家的战略需求，将科研的重点也转向核电材料的研发领域。

“目前国际上都公认，材料问题是影响核电安全的最主要因素。要想核电站安全运行，选择安全、可靠、耐腐蚀的核电材料并掌握其长期服役损伤

规律至关重要。”韩恩厚介绍，过去10余年来，他的团队潜心于核电材料的腐蚀行为分析，也帮助核电站作安全性评价与寿命分析，获得授权发明专利20多项，很多方法都是全世界独一无二的。

2015年，大亚湾核电站找到韩恩厚团队，希望他们在核电站部件的安全评价方面提供指导和帮助。经过努力，韩恩厚团队最终完成了该核电站核岛内部关键结构的损伤分析、安全评价与寿命预测，得到对方与国家核安全局的高度认可和好评，被认为是“首次由中国人自己牵头完成对大型商用核电站核岛内关键结构的评估”。

韩恩厚希望，未来全社会对于腐蚀造成的危害能够有足够的重视，“但目前的问题是，在很多大公司里，都找不到腐蚀工程师的影子，这不能不说是一种遗憾。理想的状态是无论在设计院，还是在建设过程以及使用维护中，都应该有腐蚀专业工程师。”

（文章来源：中国科学报 作者：彭科峰 沈春蕾）

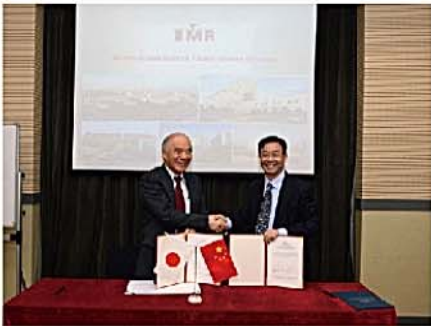


高温高压水循环回路系统



4月24日，由世界腐蚀组织、中国科学院沈阳分院、辽宁省科学技术协会、中国

科学院金属研究所联合举办的“世界腐蚀日”科普活动在辽宁省科技馆举办。



4月18日上午，日本丰桥技术科学大学校长、日本科学委员会主席大西隆教授一行

到访金属所。杨锐所长和大西隆校长共同签署了金属所与日本丰桥技术科学大学合作协议。



4月20日至22日，在张健副所长带领下，院地合作处组织所内相关领域九

名专家赴无锡开展科技合作对接活动，并就高温合金铸件、钢索性能改进、石墨烯材料应用、工程塑料应用、焊料技术、表面涂层等领域的一些具体问题与九家企业进行了对接。



4月18日至22日，2015年度李薰讲座奖获得者、德国于利希研究中心(FZJ)

Stefan Blügel教授访问金属所。



2016年，所党委积极探索每年为职工办“三件实事”的工作举措，并将“建立和完善‘3H’

工程的长效机制”列入年度工作计划，通过年初组织征集意见，共收集整理了52个群众关心的问题。4月13日上午，所党委组织召开为职工办理“三件实事”进展情况通报会。会上，相关部门负责人结合有关法律法规、技术规程和我所实际情况，对收集到的52条意见建议逐一进行了详细的解答。



4月12日，新疆农垦科学院陈学庚院士一行在中科院新疆分院董云社副

院长的陪同下到访我所就耐磨农机具洽商合作。双方达成一致意见，由金属所提供小批量农机具零配件，新疆农垦科学院将利用新疆生产建设兵团特有的农机使用及试验网络尽快开展试用，力争尽快实现产业化。