

金属之光

9

中国科学院金属研究所
2017年 第9期 (总第197期)

INSTITUTE OF METAL RESEARCH. CHINESE ACADEMY OF SCIENCES



铝基块体非晶材料研究取得新进展

铝基非晶合金以其高的比强度和优异的耐腐蚀性能而备受关注，在航空、航天等领域中轻质构件材料应用极具发展前景。然而，铝基非晶合金体系低的玻璃形成能力是制约其工程化应用的瓶颈。

近年来，金属所沈阳材料科学国家（联合）实验室非平衡金属材料研究部王建强研究员课题组

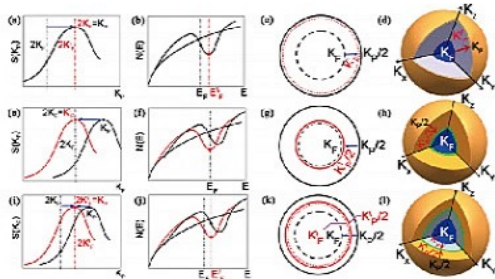


图1 费米面和伪布里渊区相互作用机制在Al基金属玻璃中的应用

与美国约翰霍普金斯大学马恩教授合作，在Al基金属玻璃的结构及玻璃形成能力等方面进行了多年的研究探索。在Al-TM（过渡金属）-RE（稀土）为基础的三元合金系中，分别以TM和RE作为溶质中心的原子团簇结构，通过团簇致密堆垛结构的耦合进行了合金的成分设计，在Al-Ni-Co-Y-La五元合金体系中获得了1mm直径的铝基金属玻璃棒材（铝含量达86at.%）（见Scripta Materialia, 61(2009) 423-426）。这是国际上首次报道通过熔体直接浇铸制备出单一非晶相的铝基块体材料，引起了国内外研究人员的广泛关注（迄今引用超过150次）。在此基础上，近来从成分设计与制备工艺两个方面着手，进一步提升其玻璃形成能力。

理解微合金元素对形成能力的影响机理，有助于设计并优化合金成分。Al-TM-RE非晶合金玻璃形成能力对微组元添加非常敏感，然而其作用机理不清。他们从电子结构层次研究其影响，一方面，通过Al原子和TM原子之间电子轨道杂化效应，微量添加TM（例如Co）可以改变费米面的直径；另一方面，调节Al原子和RE原子之间静态结构，添加微量RE（例如La）原子能够改变伪布里渊区的大小。当二者相互作用即金属玻璃结构中的费米面和伪布里渊区相切时（ $2K_F=K_p$ ），费米面处的电子态密度最低，整体金属玻璃结构最稳定，此时的非晶形

成能力最强。由此设计出迄今最优的玻璃形成能力合金成分，即 $Al_{86}Ni_{6.75}Co_{2.25}Y_{3.25}La_{1.75}$ ，模铸可获得直径为1.5 mm的完全非晶结构棒材（见Acta Mater, 108 (2016) 143-151）。

同时，熔体的纯净度显著影响非晶合金的形成能力。对于高活性的铝基非晶合金，其熔体中存在的氧化夹杂可作为异质形核核心，诱发晶化相的析出，从而显著降低形成能力。他们设计了新的兼具物理吸附和化学反应双重功能的氯化物熔盐，以达到去除熔体内部杂质以抑制异质形核的目的。一方面，针对不同类型的氧化夹杂，结合氧化物与熔盐间的表面张力，计算系统的表面自由能，选取 $MgCl_2$ 实现物理吸附除杂；另一方

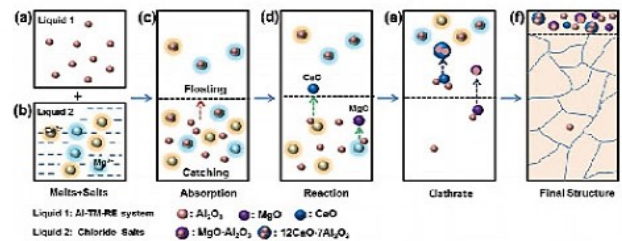


图2 铝基非晶合金净化过程示意图

面，结合体积自由能与体系中不同组元间的活度，确定系统的化学反应能力，最终选取 $CaCl_2$ 实现化学反应除杂。生成的反应产物可与熔体中残留的氧化物发生络合，也有助于实现净化熔体的作用。基于此，设计出针对Al基非晶合金的最优配比的 $MgCl_2$ - $CaCl_2$ 复合熔盐净化溶剂。采用该熔体净化制备新工艺在不同的铝基非晶合金体系中均取得了明显效果，样品的氧含量降低了3倍以上，临界玻璃形成能力大幅度提升。前述最优玻璃形成能力的五元成分，经熔体净化处（下转2版）

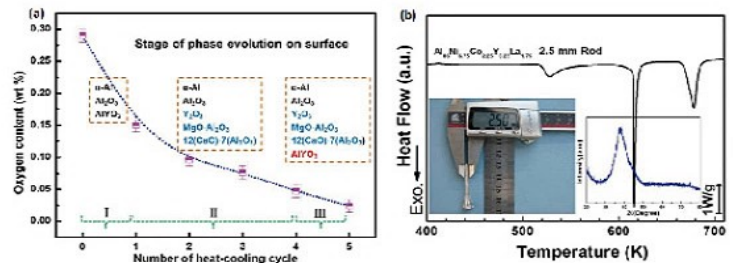


图3 (a)氧含量随净化循环次数的变化曲线 (b)临界尺寸直径2.5mm的Al基非晶合金棒材

航空发动机中封严涂层与叶片极端工况下摩擦学行为研究取得重要进展

封严涂层广泛应用于航空发动机风扇、压气机和涡轮中，起到保护转动部件，减小间隙和提高效率的作用。以一台典型的涡扇发动机为例：高压涡轮与机匣间隙每减少0.254mm，涡轮效率提高约1%；压气机的径向间隙每增加0.076mm，单位耗油率增加约1%。由于应用工况的特殊性：高速（百米/秒）、高温（1000℃）和断续刮擦，而长期以来封严涂层与叶片这一摩擦副的摩擦学行为缺乏系统的研究，导致实际应用中出现叶片磨损、涂层材料粘附叶片等严重威胁发动机运行安全的问题；封严涂层的设计、制备和应用也缺乏必要的理论指导和数据支撑，国内多以照搬国外的为主，经常出现水土不服的问题。

金属所专用材料与器件研究部的空间热控器件与材料摩擦学课题组在国内率先开展这方面的研究，自主设计建造了国内首台模拟封严涂层与叶片极端工况下摩擦磨损行为的试验机，后期又陆续研发了升级版的二代、三代试验机，并开展了大量研究。

近期段德莉研究员、薛伟海博士、高祺洋博士等人研究发现Al-hBN涂层向叶片的粘附转移与应用工况条件密切相关，低单次切入量和高线速度时粘附最为严重。通过对叶尖上涂层粘附层与原始涂层的对比表征分析，发现高速刮擦时强烈的摩擦热导致涂层中金属相Al发生熔融，在刮擦作用下向叶尖粘附是材料转移的机理。进一步对CuAl-Ni₂S₂涂层与GH4169叶片摩擦副的研究复现了发动机实际服役中常见的叶片剪切唇现象，发现高线速度和低进给率时叶片磨

损最为严重，剪切唇体积最大。通过对叶片剪切唇的组织演化表征研究，基于高速断续刮擦的特点，联系高速摩擦热在摩擦副双方的分配与传导，提出了剪切唇的形成机理。在对各种单个涂层研究工作的总结分析中，愈发认识到摩擦热在高速摩擦磨损时对材料摩擦学行为的巨大影响。研究建立了高速刮擦中的一维热传导模型，发现对摩擦副材料的热物性能对接触区域的温升速率有重要影响，从而导致了涂层粘附叶片或者叶片磨损的摩擦学行为。以上结果发表在Wear 2015, 322-323, 76-90、Wear 2017, 386-387, 195-203、Friction 2016, 4(2), 176-190。

近年来，该课题组有关封严涂层方面的研究工作得到了国家自然科学基金、中航工业APT D、中航工业创新基金、中国科学院院级科研装备和修购专项等项目的支持。

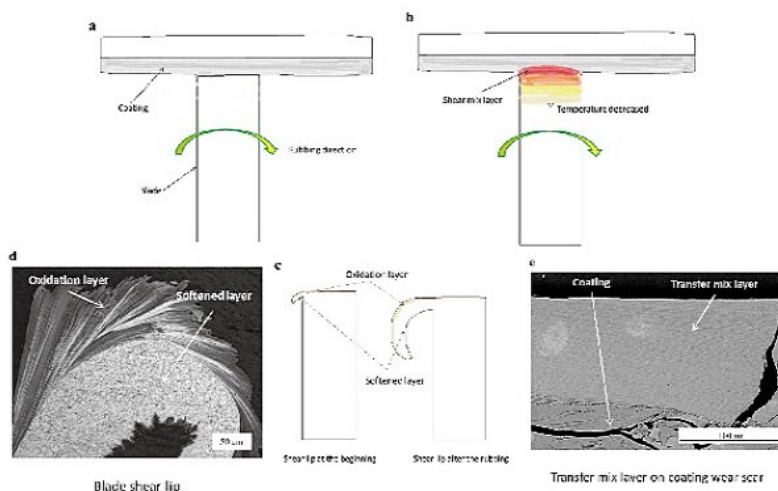


图 GH4169叶片高速刮擦中形成剪切唇的过程 (a,b,c)，典型剪切唇结构 (d) 和对摩封严涂层中形成的转移层 (e)

(上接1版)理后，非晶合金临界直径可达2.5mm，实现了模铸Al基完全非晶样品尺寸的新突破，这为铝基非晶合金的工程化应用奠定了良好的基础（见Scientific Reports,7 (2017) 11053. DOI:10.1038/s41598-017-11504-6）。

以上研究工作得到了国家自然科学基金重点项目与科技部重点研发项目的资助与支持。

功能材料成果推广

氮化硼陶瓷及其复合材料

技术简介及应用领域

氮化硼陶瓷本身具有良好的绝缘性，通过引入不同种类的第二相，可以制备得到高绝缘性或具有良好导电性的复合材料。氮化硼陶瓷及其复合材料在钢铁、冶金、电子、航空、航天等领域中具有广阔的应用前景。本技术提供的是一种热压烧结六方氮化硼陶瓷及其复合材料。该类材料具有致密度高、强度高、吸潮率低、介电常数低、抗击穿等优点，尤其是其机加工性能优异，可以加工制造形状复杂、高尺寸精度要求的绝缘结构部件，在钢铁、冶金、电子、航空、航天等领域中具有广阔的应用前景。

技术特点(包含主要技术指标)

- 密度：2.1~3.5 g/cm³;
- 致密度：≥95%;
- 抗弯强度：≥200 MPa;

- 压缩强度：≥400 MPa;
- 介电常数：3~6;
- 介电损耗角正切：10⁻³;
- 击穿电压：≥30 kV/mm.

合作方式

联合开发

联系人

- 项目负责人：陈继新
- 电话：024-83970490
- 邮箱：jxchen@imr.ac.cn



氮化硼陶瓷构件

规则结构多孔金属的制备及应用

技术简介及应用领域

采用金属/气体共晶定向凝固技术，通过工艺参数控制，得到圆柱状气孔定向排列于金属基体中的多孔结构。与其他方法获得的多孔金属相比，采用本技术获得的多孔金属具有气孔结构可控、力学性能高、良好导热能力等突出优点。在过滤器、自润滑轴承、燃油喷注器、气体分散器、热沉以及催化剂载体等功能性装置方面具有无可替代的优势。尤其在航天方面具有很大的应用潜力，比如宇航工业用超轻Mg板、火箭发动机燃油雾化器和燃烧室发汗冷却元件等。

技术特点(包含主要技术指标)

通过改变工艺参数实现对气孔率、

气孔大小和分布、气孔方向的控制：气孔率可控制在20-75%；气孔尺寸可控制在0.05-2mm，气孔长度控制在1-30mm；气孔方向主要有沿铸锭轴向和径向两种；与传统方法相比，该方法制造的多孔金属具有较小的应力集中、高的机械性能、良好的导热能力等性能特点，与相同块体金



属相比，力学性能符合理想混合定律；导热性能可以达到块体金属数值；散热能力可以达到 $10W/(cm^2 \cdot K)$ 。

合作方式

联合开发、技术入股、技术转让

技术简介及应用领域

铝合金具有重量轻、耐腐蚀、导热导电好、低温强度高优点，在国民经济的各领域得到了广泛应用，特别是在低温装置领域。空分装置、乙烯装置、LNG装置等大量采用铝合金制作压力容器和输送管道，这种铝制容器和管道常常要和钢材进行连接。由于铝和钢的热物性相差大，采用熔焊和钎焊工艺很难将二者有效连接起来，接头的气密性和结合力往往达不到设计要求，给工程施工和设备制造带来极大的困难。本技术可应用在空分装置、乙烯装置、LNG装置等钢与铝合金的连接上。

技术特点(包含主要技术指标)

- 1、接头强度达到铝合金强度的80%以上；
- 2、接头气密性：氦气漏率小于 $1 \times 10^{-9} Pa \cdot m^3/s$ ；

技术简介及应用领域

本项目主要解决了耐磨高速钢的熔炼，拉拔及热处理工艺。能加工出直径为0.2mm，硬度达到HRC67高速钢针(普通高速钢硬度在HRC63左右)。可应用于纺织用针、工业用针等需要高硬、耐磨领域。

技术特点(包含主要技术指标)

高速钢针主要性能是耐磨性，一般用硬度值来表示，硬度值高低直接决定了其使用寿命。本项目高速钢针为HRC67。显微硬度值为HV900以上。高速钢的优良性能是通过弥散强化来实现的。弥散强化是一种材料强化手段，通过将硬质颗粒（氧化物或碳化物）弥散分布在合金基体

联系人

项目负责人：熊天英、杜昊

电话：024-83978952

邮箱：hdu@imr.ac.cn

钢-铝接头

3、冷热冲击性能：接头经受 $150^\circ C$ 快速淬入液氮中，然后再升温至 $150^\circ C$ 的多次冷热循环，接头的气密性和连接强度基本不变。

合作方式

联合开发、技术入股、技术转让

联系人

项目负责人：闫德胜

电话：024-83978883

邮箱：dsyan@imr.ac.cn



高速钢针

内，既可显著提高合金强度和硬度，又可保持合金塑性和韧性。高速钢主要采用碳化物弥散强化的方式，通过适当工艺最终在合金材料中生成大量的、多种碳化物，比如VC，WC， M_6C ， M_7C_3 ， Mo_2C 等。这些碳化物的硬度值是45#钢的10倍左右，这就不难理解高速钢的高强度、高硬度、耐磨、抗冲击、抗冲刷及高的红硬性等性能。

合作方式

联合开发、技术转让

联系人

项目负责人：李雄伟

电话：13897995460

邮箱：easim@imr.ac.cn



离退休职工“庆祝十九大召开”征文选登

继续前进，为实现伟大的中国梦而奋斗 离退办 王家声

神州大地，一粒粒梦想的种子生根发芽，一个个追梦筑梦圆梦的故事无比生动，一份份获得感、幸福感、自豪感触手可及……

追求梦想，离不开正确的方向，砥砺前行，更需要清晰的路径。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央围绕中国梦这个总目标，逐步形成了以“五位一体”总布局和“四个全面”的战略布局为关键，以“五大发展理念”为引领，以增进人民福祉为根本的治国理政新理念新思想新战略。

这些新理念新思想新战略越来越成熟，越来越完善，越来越具体，越来越具有可操作性，越来越深入人心，为我们实现梦想提供了根本遵循，指明了正确方向，画出了清晰路径，凝聚了强大力量，“四个全面”为圆梦中国架桥铺路，办好中国事，关键在党，实现中国梦，关键靠党！

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央自觉肩负起历史重任，努力把400多万个党组织建设成400多万个坚强的战斗堡垒，把8000多万党员打造成8000多万个先锋模范，使全面从严治党成为实现中国梦的根本保障。

与此同时，全面建成小康社会以保持经济持续健康发展为基本任务，以脱贫攻坚为重点，着力实现决胜阶段的良好开局，全国深化改革以立柱架梁到构建总体框架为主线，着力为推动实现“十三五”规划乃至更长远发展目标提供动力。全面依法治国向“深水区”迈进，动真招，出实招，着力让人民群众感受到公平正义。

“四个全面”战略布局渐次展开，深度推进，实现中华民族伟大复兴中国梦的路径愈发清晰！

“五大发展理念”为圆梦中国指明方向。习近平总书记指出，绿水青山就是金山银山，广大农村在搞绿色发展，使荒山秃岭变成了“花果山”，农村旅游的开展，为农村引来了“摇钱

树”，使农民脱贫致富。

从“黑色经济”到“绿色经济”，从重化产业结构到新经济新动能，中国经济腾笼换鸟，化茧成蝶的结构调整和产业升级正在有序进行。

两年前召开的十八届五中全会，瞄准建成小康社会这个“第一个百年目标”，提出创新、协调、绿色、开放、共享“五大发展理念”。两年来，崇尚创新，注重协调，倡导绿色，厚植开放，推进共享，已成为从部门到地方，从企业到个人推进经济社会各项事业健康发展的行动自觉。

“四个自信”，为圆梦中国凝心聚力。“文化自信”是更基础、更广泛、更深厚的自信。没有文明的继承和发展，没有文化的弘扬和繁荣，就没有中国梦的实现。提高国家文化软实力，关系到“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦的实现！自信人生二百年，会当击水三千里。“四个自信”来自百年逐梦的苦难和辉煌，立足国家的强大和人民的力量，既是中国梦的应有之义，更是实现中国梦的精神引领，我们要“奋发有为”促进祖国的发展、繁荣、昌盛！

五年不懈探索，五年砥砺奋进！

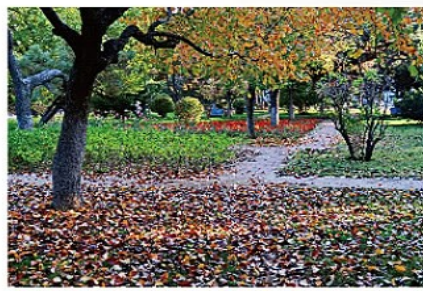
一系列治国理政新理念新思想新战略，指引全体中华儿女追逐梦想，开天辟地，党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央带领全党全军全国各族人民，不忘初心，继续前进，向着中华民族伟大复兴的中国梦不断迈出新步伐，创造新奇迹！向着人民幸福的梦想奋进！民生事业不断进步，人民对美好生活的追求一步步变为现实，从公立医院改革，医疗改革，户籍制度改革，城乡养老并轨，到“全面二胎”，加大农村教育投入，实施乡村教师支持计划，打破“一考定终身”……。一项项惠及民生的改革举措密集出台，让普通百姓感受到实实在在（下转6版）

离退休

摄影展品赏析—

秋

张静华



（上接5版）的好处。

从贫困人口全部纳入重特大疾病救助范围，到全面建立困难残疾人生活补贴和重度残疾人护理补贴制度，再到进一步健全特困人员救助供养制度……一项项针对弱势群体的福利政策，奏响了共圆梦想时代的强音。

“更好的教育”，“更满意的收入”，“更可靠的社会保障”这是人民触手可及的获得感。

当全球经济停滞不前，贸易保护和反全球化的思潮抬头之时，中国则以更加开放和自信的心胸走向世界，拥抱世界！

“一带一路”倡议得到广泛的认可，得到众多国家的支持和参与，亚洲基础设施投资银行开业运营，丝路基金顺利推进，使得一大批重大项目付诸实施，中国正在成为全世界发展的引擎、从杭州G20峰会，到金砖国家领导人第八次会晤，再到APEC利马会议，中国提出的人类命运

共同体的理论，逐渐深入人心越来越得到共识。

伟大的事业源于伟大的梦想，伟大的梦想指引伟大的事业，放眼神州，在中国梦的感召下和引领下，对幸福生活的获得感与日俱增，对共同目标的认同感与日俱增，对民族复兴的自豪感与日俱增。

在中华民族伟大复兴的历史坐标上，“十三五”开局是这个承前启后的关键时刻，距离实现“第一个百年”奋斗目标，吹起了冲锋号，在祖国的大地上，铁路进西藏，公路密成网，高峡出平湖，港口连五洋，产业门类齐，稻麦遍地香。神舟遨太空，国防更坚强，一个独立、民主、富强的新中国巍然屹立在世界的东方！

让我们同心同德，一心一意团结在以习近平总书记为核心的党中央周围，不忘初心，砥砺奋进为实现伟大的中国梦贡献我们的力量！

经过所党委的不懈努力，9月30日，困扰我所多年的北家属区顶楼房证问题获彻底解决，有17户住户拿到房证。



9月25日至28日，由中国核能行业协会和中国科学院金属研究所联合主办的第五届核电站材料与可靠性国际研讨会暨亚洲核电厂水化学与腐蚀国际研讨会在沈阳召开。会议期间，与会代表围绕“核电厂运行水化学操作经验与腐蚀”、“核电厂材料和可靠性”、“水化学和流动加速腐蚀”、“水化学和燃料性能”、“模拟和监测技术”、“辐射缓解与去污技术”、“辅助系统及将来技术”、“核系统材料老化问题”等8个主要议题进行了深入的交流和讨论。



9月28日下午，所工会举办“喜迎国庆”职工研究生趣味运动会。共有23个分工会、1200余人次参加比赛。

9月27日，中组部人才工作局在沈阳为我省入选国家“万人计划”专家举行了颁证仪式。



我所杨锐研究员、张哲峰研究员作为入选专家代表，参加了颁证仪式。

9月23日至26日，由中国材料研究学会(C-MRS)主办，中国科学院金属研究所承办的第六届国际镁及镁合金会议在沈阳召开。



来自中国、德国、英国、加拿大、日本、韩国、澳大利亚等11个国家的400余名代表参加了本次会议。

9月19日，国家电力投资集团公司董事长、党组书记王炳华，原机械工业部副部长孙昌基及国家电投相关部门领导专家到金属所调研考察。



王炳华董事长希望金属所在“两机”专项重燃专项实施过程中在材料研发领域唱主角戏，发挥重要作用。