

中国材料大会 2024
暨第二届世界材料大会
CMC 2024 & WMC 2024

July 8-11, 2024
Guangzhou, China

E08-超声材料科学与技术
E08-Ultrasonic Materials Science
and Technology

Organized by

Chinese Materials Research Society

Website: <https://cmc2024.scimeeting.cn>

E08-超声材料科学与技术

分会主席：翟薇、宋晓国、李飞、王建元、陈宗宁、闫娜

E08-01

光电化学光阳极材料的超声处理与机制研究

李亮

苏州大学

光电化学 (PEC) 水分解产氢是基于光电互补策略把太阳能直接转换为氢能, 是当前利用太阳能转换的最有效方案之一。在 PEC 水分解过程中, 相比较发生在阴极的析氢反应, 发生在阳极的析氧反应 (OER) 涉及到四电子迁移过程 (进行 O-H 键断裂和 O-O 键生成两个步骤), 需要更高的反应活化能, 是整个水分解反应动力学的决速步骤。制备性能优异的光阳极是实现高效太阳能-氢能转换效率的关键。然而, 光阳极严重的体相复合和缓慢的 OER 动力学问题是目前制约其发展的首要原因。

针对如上挑战, 在本报告中, 报告人将介绍超声化学的基本过程及其在材料改性方面的独特优势。进一步通过结合具体研究例子, 同时利用超声在液相中所带来的瞬时极端化学反应条件以及机械震荡等效果, 从而实现了常态化学合成反应 (水热、水浴、溶胶凝胶法等) 所无法实现的光阳极后处理效果, 大幅提升了光电化学性能。

E08-02

超声场中 FeCoCrNi 基高熵合金的凝固规律研究

王建元

西北工业大学

共晶体系的 3d 过渡族 (Fe、Co、Ni、Cr 等) 高熵合金具有良好的综合力学性能, 是近年来研究广泛的一类高熵合金体系, 具有广阔的应用前景。对其性能的优化一方面在于精确的合金设计, 另一方面在于凝固及后续处理过程的组织调控。超声凝固技术在铝合金等中低温合金中显示出良好的组织性能调控能力, 但是鉴于传统超声凝固技术在适用温度上的局限, 难以应用于熔点 1200K 以上的合金。

本文采用创新的超声凝固技术, 将频率为 20kHz 的一维 (1D)、二维 (2D) 和三维 (3D) 超声波成功地应用于 FeCoCrNiCuAl_{0.4} 高熵合金的凝固过程, 以研究其对微观结构演变和应用性能提高的影响。在静态凝固过程中, 初生 γ_1 相发展为粗大的枝晶, γ_2 相呈条状扩散分布在枝晶间区域。随着超声尺寸的增加, 在细小的等轴 γ_1 晶粒中出现了一种以 γ_2 相连续生长为特征的新型异质结构。分析认为, 超声尺寸的增加加剧了瞬态空化, 这是通过显著提高 γ_1 相形核速率来细化 γ_1 相的主要因素, 而增加的声流量通过加速溶质扩散促进了易偏析 Cr 和 Cu 元素的均匀分布。这些共同促成了这种精细网络异质结构的形成。由于晶粒细化强化和异变形诱导强化, 三维超声凝固合金的屈服强度和极限强度分别提高了 29% 和 47%, 而没有显著牺牲延展性。同时, 合金的自腐蚀电流密度也随着耐腐蚀性的提高而降低, 这主要是由于均匀的溶质分布和连续的网状异质结构带来了更平衡的腐蚀电位。

E08-03

超声雾化制备内包覆纳米颗粒 7075 铝合金粉体及无热裂增材制造

邱丰¹, 刘天舒¹, 杨宏宇¹, 谭超林², 姜启川¹

1. 吉林大学 材料科学与工程学院

2. 新加坡制造技术研究院

7075 铝合金的激光定向能量沉积由于其固有的可打印性差和高开裂倾向而极具挑战性。在本项工作中, 我们通过超声雾化手段获得了内包覆微量(0.15wt.%)纳米 TiC-TiB₂ 颗粒的 7075 铝粉, 有效拓宽了 7075 铝合金的工艺窗口, 并获得低孔隙率无裂纹的激光定向能量沉积 7075 铝合金。微量内包覆纳米 TiC-TiB₂ 颗粒有效提高了 7075 铝合金粉末的激光吸收率, 使得低, 中, 高热输入下构建态样品的孔隙率均在~1%以下。

由于纳米颗粒对 α -Al 形核的促进作用和对生长的阻碍作用, 构建态样品中平均晶粒尺寸大幅细化, 织构强度大幅降低, 且高能量输入下也无开裂。固溶过程中发生再结晶, 萌生大量近等轴晶。单级时效和双级时效后均获得优异的强塑性协同。其中, 单级时效后激光定向能量沉积 7075 铝合金的极限抗拉强度为 458 ± 4 MPa, 断裂伸长率为 $17.2 \pm 0.3\%$; 双级时效后的极限抗拉强度为 480 ± 15 MPa, 断裂伸长率为 $10.5 \pm 0.2\%$ 。该强塑性协同在文献中已报道的增材制造或铸造 7075Al 合金中脱颖而出。双级时效下更优异的强塑性协同可归因于其多样的析出强化相: η' -MgZn₂ 相, T'-Mg₃₂(AlZn)₄₉ 相以及 GPII 区; 而单级时效下的析出强化相较为单一, 只有 η' -MgZn₂ 相。但由于双级时效下样品中产生较多长度大于 10 nm 的 η -MgZn₂ 相, 使得其塑性相对较低。本项工作旨在为制备低缺陷的高强度激光定向能量沉积 7075 铝合金提供新的见解和思路。

E08-04

基于晶向织构提升 PMN-PZT 织构陶瓷的压电性和抗疲劳性的研究

刘琳婧¹, 吕蕊¹, 杨帅³, 谢航¹, 寇蔷薇¹, 孙媛¹, 杨彬¹, 常云飞^{1,2}, 李飞³

1. 功能材料与声光仪器研究所, 仪器科学与工程学院, 哈尔滨工业大学, 黑龙江哈尔滨, 150001

2. 郑州研究院, 哈尔滨工业大学, 河南郑州, 450056

3. 电子材料研究实验室 (教育部重点实验室), 电子科学与工程学院, 西安交通大学, 陕西西安, 710049

铅基弛豫压电材料因其具有优异的压电性能, 在水下探测、超声诊断、精密驱动等领域具有非常广阔地应用前景。本工作成功利用改进的液相辅助织构技术, 成功制备了织构度高达 98% 的 [001]_c 取向 Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbZrO₃-PbTiO₃ (PMN-PZ-PT) 织构陶瓷。与无取向陶瓷相比, 织构陶瓷的压电常数 d_{33} 提升约 4 倍, 机电耦合系数 k_p 提高约 2 倍。织构陶瓷的矫顽场 E_c 为 8.8 kV/cm, 高场压电系数 d_{33}^* 达 1100 pm/V。织构陶瓷具有比无取向陶瓷更好的温度稳定性, 其在室温到 150℃ 之间的 d_{33}^* 变化 $\leq 2\%$ 。同时, 织构陶瓷在整个单极循环过程中表现出优异的抗疲劳性能。在 10⁶ 个单极循环疲劳过程中, 织构陶瓷的单极 $P_{\max}$ 和 d_{33}^* 几乎保持不变。经过 10⁶ 次单极循环疲劳后, 织构样品具有更低双极应变不对称性 $\gamma_s \sim 4\%$ 。结合织构陶瓷微观畴结构、压电性能的本征贡献和非本征贡献, 深入研究了压电性能和单极抗疲劳性能提升的原因。具有高压电性能和优异的单极抗疲劳性的织构陶瓷有望应用于高性能和稳定的压电领域。

E08-05

超声波钎焊的声空化行为及其应用研究

许志武, 李政玮, 陈姝, 闫久春

哈尔滨工业大学

超声钎焊中的声空化发生在毫米甚至微米级的钎料薄层中, 薄层钎料的声空化不同于大体积液体声空化。本报告以超声钎焊中薄层钎料的声空化为研究对象, 研究空化泡动态行为及其在焊接过程中的系列效应。结果发现, 超声钎焊过程中声空化在宏观上先强后弱, 可分为紊乱和稳定空化两个阶段。紊乱阶段空化率高, 可观察到生命周期较长的空化云; 稳定阶段空化率低, 以一个周期内形核并溃灭的小空化泡居多。空化微观上呈强弱交替变化, 变化周期一般为几十个超声周期。超声功率越大、母材弹性模量越大, 空化强度越高。超声作用下钎料可实现向不润湿母材间隙内的快速填充。填缝过程伴随雾化、空化以及钎料的侧向溢出现象。钎料填缝过程中速度发生变化, 变化规律与母材表面振动响应强度变化规律一致。功率越大、母材弹性模量越大, 母材间隙越小, 填缝速度越快。超声波钎焊可实现各种新材料及异种材料的低温可靠焊接。通过非晶结构协同过渡连接陶瓷与金属, 实现了 SiC、AlN、Al₂O₃ 和 Si₃N₄ 陶瓷/金属的低温、可靠焊接。研究了声场作用对铝/镁、铝/钛异质金属界面 IMC 的化合、分布及演变规律, 解决了界面 IMC 难以控制的问题, 实现了异质金属的高强度连接。

E08-06

超音频脉冲电弧焊接/增材制造轻质合金形性协同控制

从保强, 曾才有, 祁泽武, 齐铂金

北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191

电弧焊接/增材制造技术是航天大型结构件的核心制造技术之一。如何有效提高焊接/增材质量及其稳定性、提升电弧焊接/增材效率一直是研究热点和前沿。北航研究团队创新开发超音频脉冲电超声电弧热源技术,实现了精细控制电弧、提高电弧瞬态功率密度、抑制电弧熔敷金属缺陷的独特工艺效果。进一步针对新型轻质高强结构材料大型复杂航天构件快速一体化制造迫切需求,提出基于超音频脉冲方波电弧增材制造新方法,深入探究了超声电弧能场下的熔池流动行为,阐明了非平衡凝固组织优化调控机理,突破传统加工成形过程中增强相颗粒团簇、非平衡凝固组织粗化、合金元素偏聚和成形缺陷多发等瓶颈难题,建立了适用高性能新型轻量化材料的加工成形策略。

E08-07

基于高强超声空化的微、纳米材料分散、剥离、破碎工艺研究、装备研制及应用进展

赵凤

中国科学院宁波材料技术与工程研究所

超声空化作为一种高效、节能的新型处理工艺,在微、纳粉末浆料分散,二维纳米材料剥离制备、纳米颗粒制备等领域得到越来越广泛的关注。报告聚焦汇报人团队在**高强超声空化**装置设计、参数优化及超声空化作用机理的研究进展。结合实际案例介绍相关工艺研究、装备研制及其工程应用进展,具体包含:锂电池正负极浆料、锂电隔膜浆料、涂料、油墨、色浆等微/纳米粉末浆料超声空化分散制浆;碳纳米管分散;少层石墨烯液相剥离制备;微/纳米级粉末颗粒减小等。

E08-08

碳量子点的超声悬浮无容器合成及其荧光性能研究

刘向荣, 杨征, 马乐, 许甜甜, 赵顺省, 杨再文

西安科技大学 化学与化工学院

目前,碳量子点合成的主要方法是溶剂热法,需要高温、高压,且加热时密闭反应釜中流体体积膨胀,产生极大的压力,存在严重的安全隐患。利用超声悬浮无容器法制备碳点,常温常压,易于控制,为碳量子点的合成提供了绿色安全的新方法。

本文以柠檬酸和邻苯二胺为原料, N, N-二甲基酰胺为溶剂,利用超声悬浮无容器法合成了橙黄色荧光碳量子点。探讨了不同合成方法、反应溶剂和超声时间对合成碳量子点荧光性能的影响,发现以 N, N-二甲基酰胺为溶剂,超声悬浮 3 min 可得到荧光性能最优的碳量子点。利用透射电子显微镜、傅立叶变换红外光谱和 Zeta 电位等技术对合成碳点的形貌、结构和组成进行了表征。结果表明,超声悬浮法合成的碳点呈准球形、分散良好、尺寸均一、平均粒径为 $2.93 \pm 0.69 \text{ nm}$ 、Zeta 电位为 -0.06125 mV ,且表面具有丰富的氨基、羟基和羧基等官能团。通过紫外可见吸收光谱和荧光光谱等技术对合成碳量子点的光学性能进行了表征,碳量子点在紫外可见吸收光谱中 269 nm 和 301 nm 处的峰分别代表共轭芳香环的 $\pi-\pi^*$ 跃迁和 C=O 的 $n-\pi^*$ 跃迁。碳量子点在荧光光谱中最佳激发波长为 434 nm,最佳发射波长为 517 nm,且发射波长不依赖于激发。

E08-09

缺陷工程与结构设计对超声作用下块体压电催化剂的性能优化

张妍¹, 冯开宇¹, 赵艳¹, 龚涵宇¹, 卓芳平²

1. State Key Laboratory of Powder Metallurgy, Central South University

2. Department of Materials and Earth Sciences, Technical University of Darmstadt

利用粉末基压电催化剂在超声下进行水裂解是一种很有前途的制氢新方法。然而,粉末基压电催化剂在使用后的回收问题阻碍了它们的实际应用。将催化剂块体化可以解决粉体基催化剂无法回收的问题,但块体催化剂的催化性能需要被进一步提升。在本研究中,通过缺陷工程和结构设计有效地对块体催化剂的压电催化性能进行了改善。前者通过在 BaTiO_3 单晶中引入了高密度的位错,使得其在压电性能、电导率、超声激发响应和氢吸附自由能等方面表现出优异的性能,并研究了在不同超声频率下的压电电势。后者通

过 3D 打印与冷冻浇注的结合, 设计出了分级多孔的块体催化剂以及具有应力集中的多孔“雪花”状催化剂, 实验与模拟结果均表明块体催化剂在超声下的压电催化性能得到了提升。

E08-10

基于超声空化效应的功能材料制备与测试技术及应用研究

唐少春

南京大学

现代新材料领域迫切需要解决低能耗规模化制备以及服役可靠性定量高效评价难题。超声波空化效应为传统条件下难以或不能发生的液相反应提供特殊环境, 并作为一种测量材料抗磨、抗疲劳性能的有效方法在提质增效方面得到高度关注。本团队基于系统实验研究, 揭示了聚能超声强化的非稳态多场传递以及局域空化效应的作用机制, 克服了多样性和复杂性特点的微纳复合功能材料的制备难点, 成功制备出纳米粒子均匀掺杂多孔微米球、蜂巢状三维多孔掺杂氮石墨烯微米片、高质量碳纳米管薄膜等多种高性能新型微纳复合材料, 以及这些材料在电化学储能方面的应用, 并开展了金属材料抗磨、抗疲劳性能的快速精确测量。本报告将介绍团队在理论创新、功能材料制备和专用设备方面取得的系列进展。

E08-11

基于超声空化效应的功能材料制备与测试技术及应用研究

杨瑾

上海工程技术大学

玻璃、陶瓷、半导体等透明硬脆材料由于其优异的机械、物理性能、稳定的化学性能而在航空航天、光学系统、微机电系统、医疗诊断、汽车制造等多个领域广泛应用。由于与金属材料热物理性能差异较大, 存在热膨胀系数不匹配、难反应、难结合等问题。现有的硬脆材料连接方法普遍存在焊接强度差、焊接效率低、需要高温或者真空条件、不同的材料热膨胀系数必须接近等, 对透明硬脆材料与金属的焊接产生制约。本报告围绕超快激光焊接透明硬脆材料与金属, 采用试验研究、仿真模拟的方法对工艺、连接机理进行探究, 以期为其他类型的金属与透明硬脆材料高质量连接提供思路。

E08-12

超声振幅对超声波增材制造 Ti/Al 叠层复合材料界面微结构和力学性能的影响

周延源^{1,2}, 赵凤¹, 王振强², 姜凤春²

1. 中国科学院宁波材料技术与工程研究所

2. 哈尔滨工程大学

金属超声波增材制造 (Ultrasonic Additive Manufacturing, UAM) 是继以高能三束为热源的增材制造之后的又一新型金属快速成形与增材制造技术。它以金属超声波固结 (Ultrasonic Consolidation, UC) 为基础, 在超声波能量和静压力的作用下, 使界面处的金属原子相互扩散发生固态物理冶金, 进而实现箔材间的固态连接和成形。UAM 具有成形温度低、速度快、能耗低等特点, 特别适合异种金属连接成形, 同时可有效避免有害金属间化合物的形成。采用 UAM 制造金属构件的性能主要由箔材层间的结合质量决定, 而超声波振幅、正压力和固结速度是影响 UAM 构件成形的关键工艺参数。在这些工艺参数中, 振幅对界面微结构和性能的影响最为显著, 然而其内在的作用机理仍不清楚。本研究针对 UAM 过程中的界面微结构演变以及原子扩散等问题, 在不同振幅条件 (低振幅: 28 μm ; 高振幅: 32 μm) 下制备 Ti/Al 叠层复合材料 (Laminated Metal Composites, LMCs), 采用理论计算和实验研究相结合的方式, 对比研究超声振幅对 Ti/Al LMCs 界面微结构、粘接质量和力学性能的影响, 通过 SEM、EBSD、TEM 及 APT 等表征方法在原子尺度上揭示 UAM 的界面结合机理。研究结果表明, Al 层的剪切变形与回复再结晶对界面成形至关重要, 界面处的高应变率剪切变形、摩擦引起的温升和声软化效应共同诱导了界面原子扩散成键。在界面处发现了厚度为几纳米的包含多种晶体类型的氧化物层, 通过 Al-O 和 Ti-O 复合氧化物的相变形成了金属-氧化物-金属的键合模式。提高振幅可使固结界面瞬时温度和声软化效应水平升高, 有利于在界面处形成

Al 或 Ti 的纳米晶和微小 Al_3Ti 金属间化合物, 进而增强层间结合强度。高振幅导致的 Ti 层整体硬度的降低和近界面区域的硬化对复合材料的拉伸性能和弯曲性能都是不利的, 尽管这种条件下能获得更高的界面结合强度。

E08-13

深过冷熔体强对流条件下 Fe-Cu 合金亚稳液相分离动力学研究

吴宇昊, 王锦研, 苏静雯, 段居中

西安科技大学, 材料科学与工程学院

超常条件下 Cu-Fe/Co 基合金的亚稳液相分离过程研究属于凝固科学的热点课题, 关于熔体对流强度对亚稳液相分离动力学的影响规律仍然不清楚。本文选取 $\text{Cu}_{75}\text{Fe}_{25}$ 合金作为研究对象, 采用熔体对流强度可调的熔体浸浮技术, 研究了深过冷熔体强对流条件下 $\text{Cu}_{75}\text{Fe}_{25}$ 合金的亚稳液相分离过程。研究发现, 冷却过程中熔体浸浮样品内部的熔体对流模式与感应线圈中电流大小密切相关, 随着感应线圈电流的增大, 冷却阶段样品内部熔体对流强度明显增强, 亚稳液相分离的临界过冷度逐渐变大。强制对流有助于熔体内的杂质被熔融玻璃更快并有效吸附, 使得熔体过冷度高达 487 K, 远高于自然对流条件下获得的最大过冷度 286 K。当过冷度增加时, 自然和强制对流条件下液相分离时间均线性延长, 并且二者数据非常接近。自然对流条件下, Stokes 运动主要控制液相分离过程的进行, 过冷度的增大促进富 Fe 相微滴向上漂移, 过冷样品顶部位置富 Fe 相颗粒显著大于底部和中部位置。强制对流条件下, 电磁搅拌诱发的强制对流明显强于自然对流, 液相分离过程主要受到强制对流模式的控制, 液相分离形貌以富 Fe 相颗粒的弥散结构为主要特征, 高过冷样品的富 Fe 相颗粒有所增大。

E08-14

电超声变极性电弧增材制造高强铝合金

俞楷, 曾才有, 齐铂金, 从保强

北京航空航天大学机械工程及自动化学院

高强铝合金及其颗粒增强复合材料具有优异的比强度和良好的耐腐蚀性, 作为重要的轻量化结构材料被广泛应用在航空航天和国防军事领域。电弧增材制造高强铝合金面临气孔、裂纹、组织粗大等问题。在成形过程中引入超声能场能够增强熔池流动、促进气泡的逸出、有效抑制气孔并细化组织, 提高铝合金增材构件的力学性能。区别于常规机械超声能场, 本研究提出一种超音频脉冲方波变极性电源技术, 通过对电弧波形进行超高频脉冲和快变换变极性调制, 可实现电弧热力行为的超音频脉动变化, 进而通过独特的电超声效应对增材熔池行为进行精细调控。基于此创新电弧有效改善了电弧增材制造 Al-Cu-Mg、TiCp/Al-Cu、Al-Mg-Sc 等合金的内部缺陷和微观组织, 实现增材构件组织细化和性能提升。电超声变极性电弧增材制造技术为高强铝合金的高质量热成形提供了可靠的技术途径。

E08-15

微量添加 TiB_2 纳米颗粒操纵 7055 合金钝化膜提高其耐蚀性

李学凯

大连理工大学

在本研究中, 制备了少量 TiB_2 纳米颗粒接种的 7055 合金, 并进行了钝化处理。对比研究了 7055-0.5 TiB_2 复合材料与基体合金的显微组织、点蚀行为和电化学性能。结果表明: 0.5 wt.% TiB_2 纳米颗粒的掺入使晶粒细化(从 142.4 μm 细化到 44.1 μm), 使残余中间体的体积分数从 0.59%降低到 0.49%, 钝化膜的厚度从 4.05 nm 增加到 5.95 nm, 钝化膜的均匀性得到改善; 在 3.5% NaCl 中浸泡 24 h 后, 点蚀直径和点蚀面积分数均减小。电化学测试结果表明, TiB_2 纳米颗粒加入后, 钝化层电阻、电荷转移电阻和极化电阻值均显著增加, 腐蚀电流减小, 证实了钝化膜形成了更有效的阻挡层。 TiB_2 纳米颗粒的掺入使 7055 合金的耐蚀性得到提高, 这主要是由于 TiB_2 纳米颗粒在晶界区域的活性溶解速率降低, 钝化膜更均匀、更厚, 腐蚀速率降低。

E08-16

基于超声波反射原理功率超声调控金属凝固组织及性能研究

亚斌^{1,2}, 孟凡淇¹, 甘子琦¹, 孟令刚^{1,2}, 周秉文^{1,2}, 单长智², 刘运峰², 张兴国^{1,2}

1. 大连理工大学

2. 大连理工大学宁波研究院

功率超声在材料加工和处理方面的应用引起了研究学者的关注。它在液体介质中传播时, 会产生空化效应、声流效应、热效应等, 这些效应将在金属凝固过程中引起流动场、压力场和温度场的变化, 进而细化凝固组织。超声波的传播具有方向性, 其在液体中产生的空化效应只存在于超声探头顶端较小的范围内, 特别是针对水平连铸工艺, 现有功率超声处理技术只能处理保温炉或中间包中的金属熔体, 未能实现直接处理液穴部位金属液体的功能。本文基于超声波在传输过程中在界面处的反射机理, 设计了直角形工具头, 并对功率超声处理后工具头附近区域的铝合金铸锭进行了组织和硬度的分析, 结果表明, 超声可以通过界面的反射, 作用于工具头前端, 细化组织, 提升显微硬度。该技术在改善有色合金的水平连铸组织与性能中具有良好的应用前景。

E08-17

超声辅助纳米颗粒熔体内分散及高效强化铝合金

杨宏宇, 董柏欣, 邱丰, 姜启川

Jilin University

凝固组织的调控是合金制备的起点, 影响着一切后续热加工过程中的组织构建。纳米颗粒能够显著调控凝固组织, 但纳米颗粒极易团聚, 形核利用率低, 未形核纳米颗粒也容易团聚恶化合金性能。本工作通过超声辅助制备纳米颗粒中间合金, 形成预分散纳米颗粒原位反应、尺寸形貌调控及自分散一体化技术; 进一步的以预分散纳米颗粒中间合金为载体, 通过超声辅助纳米颗粒在铝合金大熔体内均匀分散, 制备出微量均匀分布的纳米颗粒强化铝合金, 解决了纳米颗粒加入合金熔体难引入、易污染、易团聚瓶颈难题。提出了通过微量预分散内生纳米颗粒协同调控新型组织构型-强韧化-高服役性能一体化思想, 实现铝合金强塑协同和高疲劳性能, 为高强韧铝合金组织构型和强韧化一体化调控关键技术提供重要理论支撑。解决铝合金大尺寸铸锭偏析严重、无法制备性能均一的宽幅铝合金板材难题技术难题。

E08-18

高强韧可焊接原位纳米强化稀土铝合金的电磁/超声调控制备与应用研究

怯喜周, 赵玉涛

江苏大学

针对航空航天、轨道交通、汽车等领域关键结构部件对铝合金高强韧、抗疲劳、可焊接、耐腐蚀等综合性能要求的不断提高, 项目组提出稀土和原位纳米颗粒耦合强化铝合金新方法, 研究了稀土与纳米颗粒耦合作用铝合金的微观组织演变规律, 并探索其对力学性能、耐腐蚀性、可焊接性、抗疲劳等性能的影响行为及协同强化机理, 开发了电磁/超声场调控纳米强化稀土铝合金的制备和组织性能优化技术, 实现在航空、高铁和新能源汽车上的规模应用。

E08-19

用于超声成像的 0.36BiScO₃-0.64PbTiO₃ (BSPT) 基高温超声换能器

孙昕郝, 张娟, 赵天龙, 全熠, 顾华玺, 杨银堂, 费春龙

Xidian University

超声无损检测技术广泛应用于材料的质量控制、机器设备的安全检查等领域。在高温等极端环境下, 作为超声检测的核心器件, 超声换能器面临极大的耐温性挑战。本工作围绕 BiScO₃-PbTiO₃ (BSPT) 高温压电陶瓷及其超声换能器开展了由材料到器件再到应用的系统研究。研制的 BSPT 压电陶瓷具有高居里温

度 ($T_c \approx 450^\circ\text{C}$) 和优异的压电性能 ($d_{33} \approx 460\text{pC/N}$), 研究工作系统分析了 BSPT 陶瓷及其复合结构 (2-2 型、1-3-2 型) 介电、压电等相关性能随温度 (室温- 250°C) 的变化规律。基于表征的高温压电材料参数, 采用等效电路及有限元仿真, 设计并制备了高频高温超声换能器及阵列。对换能器在不同温度环境下的电学和声学性能进行了系统表征及分析, 并成功实现了高频超声换能器在高温环境中的测距、缺陷检测等应用。

E08-20

碳纤维增强热塑性复合材料超声波焊接技术研究进展及展望

檀财旺¹, 苏健晖¹, 刘一凡¹, Swee Leong Sing², 陈波¹, 宋晓国¹

1. 哈尔滨工业大学 (威海)

2. 新加坡国立大学

碳纤维增强热塑性复合材料 (CFRTP) 在轻量化领域因其卓越性能备受关注, 其广泛应用于航空、汽车等行业。然而, 如何实现 CFRTP 零部件的高效、可靠连接成为行业挑战。超声波焊接技术以其独特的优势, 成为解决这一问题的关键技术。本研究综合分析了 CFRTP 超声波焊接基本原理及焊接过程, 对接头形式及异种材料连接的关键技术进行了深入讨论, 探究数值模拟、质量监控在预测焊接过程中关键参数及优化焊接质量中取得的最新研究进展。同时, 探讨了 CFRTP 与热固性复合材料、金属等异种材料的超声波焊接技术, 并对 CFRTP 超声波焊接在各领域的应用进行展望。

E08-21

超声凝固调控 TiB₂/Al 复合材料的颗粒分布

赵凯, 陈宗宁

大连理工大学

颗粒增强铝基复合材料中颗粒分布的改善对复合材料力学性能的提升具有重要意义。弥散均匀的颗粒分布状态可以最大限度地发挥颗粒的增强作用, 然而常规熔铸冷速状态下颗粒在凝固过程中极易被固液界面推移至晶界偏聚。本研究在 TiB₂/Al 复合材料中根据颗粒和固液界面的交互作用机制建立超声外场调控的策略, 在凝固过程中施加功率超声, 利用声空化效应加剧颗粒和固液界面的交互作用, 从而实现颗粒调控的目的。结果表明, 声空化泡的破裂能够加速固液界面处颗粒的运动, 从而使得部分颗粒获得较高的运动速度。在熔体粘滞阻力的作用下, 颗粒经过减速到达固液界面时可以突破常规冷速条件下难以达到的临界捕获速度, 最终被固液界面捕获至晶粒内部。晶内弥散分布的颗粒不仅提高了复合材料的屈服强度, 在均匀塑性变形阶段表现出更高的加工硬化速率, 充分发挥了颗粒的强化效果。

E08-22

多模式超声作用下三元 Mg-Gd-Y 合金的动态凝固过程研究

胡亚杰, 陆禹晨, 王建元, 翟薇

西北工业大学

高强超声场在液态合金中可以产生空化和声流等非线性效应, 从而调控合金的凝固组织并改善其应用性能。本文以 $\text{Mg}_{98.6}\text{Gd}_{1.1}\text{Y}_{0.3}$ 合金为研究对象, 在其等温和定向凝固过程中分别施加连续和脉冲超声, 对比分析了合金在两种凝固条件下的动态凝固规律, 揭示了多模式超声对合金力学性能的强韧化机制。

等温凝固过程中, 随着连续超声的振幅增大, 初生 $\alpha\text{-Mg}$ 相由粗大柱状晶逐渐转变为细小等轴晶, 晶粒尺寸细化至静态凝固下的 23%。定向凝固过程中, 长周期和低占空比的脉冲超声使得初生 $\alpha\text{-Mg}$ 相生长为“柱状晶/等轴晶”交替出现的周期性组织, 长周期和高占空比条件下转变为柱状晶和等轴晶混杂分布的非周期性组织, 短周期和低占空比下则生长为细化定向柱状晶。瞬态空化对异质形核的促进作用是两种凝固过程中生成细小等轴晶的主要原因, 其中定向凝固条件下, 每个脉冲周期内 7~35 s 的瞬态空化时间是形成周期性组织的必要条件。连续超声在等温凝固过程引发的 $\alpha\text{-Mg}$ 相晶粒细化使得合金在 473 K 下的抗拉强度提高至静态凝固下的 1.9 倍, 然而由于高温下晶界强度降低, 合金的延伸率下降。脉冲超声结合定向凝

固条件下, 周期性组织中细晶强化和异质界面强化的共同作用使得 473 K 下的抗拉强度和延伸率协同提升, 强塑积可达 $4 \times 10^3 \text{ MPa} \cdot \%$, 优于静态及连续超声下的等温及定向凝固组织。

E08-23

用于自适应光学的有序压电基元研究

任凯乐, 高翔宇, 靳浩楠, 李飞

西安交通大学

压电器件因其独特的性能优势而备受瞩目, 但传统压电材料的应变能力的局限性, 成为了制约高性能压电器件发展的瓶颈。为突破这一障碍, 科研人员借鉴了超材料的设计理念引入了“有序压电基元”的概念。这一设计通过基元之间的协同应变效应, 不仅提升了材料的应变量, 还可以实现人工振动模式。但这种高度的相互依赖性同时也带来了挑战, 它限制了对各个压电基元的单独操控能力, 特别是在需要压电材料对多种物理场实行精准调节的应用场景中, 实现基元级的独立调控显得尤为关键。因此, 在本研究中, 我们提出了一种有序固液耦合压电基元, 通过在每个压电基元中引入液体相, 有效减少了基元间 84% 的应力传递, 实现了压电基元的单独可控。同时, 通过对压电基元的结构优化和引入柔性层的方式, 使得压电基元具有相当大的对外输出应变 ($\epsilon_Z = 1.13\%$)。故所提出的有序固液耦合压电基元在产生大应变的同时, 实现了对每个基元的独立机电控制。作为实际应用的验证, 我们基于有序固液耦合压电基元设计并制造了仿生压电自适应透镜和透镜阵列。它们具有大的变焦范围 ($100.3 \text{ mm} - \infty$)、70 D/mV 的超高屈光度灵敏度、50 μs 的超快响应时间, 以及通过单独操作每个基元实现的可编程光学变焦。这项研究为压电超材料和智能机电系统设备的新设计提供了思路。

E08-24

同种/异种轻合金超声辅助搅拌摩擦焊接技术研究进展

石磊, 武传松

山东大学

轻质材料性能不断的提升对焊接与连接技术带来了新的挑战。搅拌摩擦焊 (FSW) 是铝合金、镁合金等轻质材料优选的焊接成形方法。但常规 FSW 仍存在材料形成性协同调控困难的问题。为解决上述问题, 国内外学者提出了超声辅助搅拌摩擦焊接新方法, 开展了系统的工艺试验和数值模拟研究。在综合考虑超声的热作用、声塑性软化作用、残余硬化作用和超声减摩效应的基础上, 建立了超声辅助搅拌摩擦焊接过程多相多物理场耦合模型, 系统研究了施加超声对同质/异质材料搅拌摩擦焊接产热、传热传质、搅拌头受力、材料混合等的影响规律。发现施加超声外场, 能够有效调控焊接热力耦合过程, 达到改善焊缝质量、降低焊接载荷并提高焊接速度的工艺效果。施加超声能场是实现搅拌摩擦焊接头形成性协同控制的有效手段, 超声辅助搅拌摩擦焊接技术为同种/异种轻合金优质高效绿色焊接成形提供了新的技术方案。

E08-25

先进超声检测技术及其在航空航天工业中的应用

周文彬, 周正干

北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191

近年来, 随着我国重大科技专项的开展, 新材料、新工艺及新结构的开发和应用在先进制造领域不断出现, 对超声检测技术提出了新的需求。结合目前国内高科技领域复合材料、增材制造、多层粘接结构的应用技术特点, 介绍超声检测仿真技术、空气耦合超声检测技术、复杂型面超声检测技术及多层粘接结构的阵列超声检测技术及其应用案例。利用超声检测仿真技术, 通过对检测模型进行数值或半解析形式的仿真分析, 可以实现检测方案的验证和检测工艺的优化, 有效降低检测设计成本; 利用空气耦合超声检测技术, 可以实现试件的完全非接触成像检测, 并凭借脉冲压缩等信号处理方法, 可以显著提高缺陷信号信噪比; 利用多轴联动超声扫描成像技术, 通过数模重建、轨迹规划、同步、实时成像等技术, 可以实现外形复杂、形状未知试样的准确检测成像; 利用阵列超声检测技术, 基于对多层粘接结构不同粘接状态下界面

回波信号幅度谱的分析，有效提升了多层粘接结构的检测效率。

E08-26

异种材料超声辅助钎焊技术及应用

付伟, 宋晓国, 张旭东, 胡胜鹏, 李卓霖
哈尔滨工业大学 (威海)

超声辅助钎焊技术是一种绿色、高效的焊接技术, 是将超声波作用在母材或液态钎料中, 利用超声波在液态钎料上产生的线性交变振动, 从而使得焊缝中的应力场和声压场发生周期性变化, 产生一系列次级效应, 如超声空化效应和声流效应等, 在固/液界面生成一种高温、高压、微射流等非平衡环境, 实现异种材料的低温、可靠焊接。该技术具有去除氧化膜、促进润湿与溶解、细化焊缝晶粒等特点, 在陶瓷与金属、性质差异较大的异种金属焊接方面具有巨大的优势, 在航空航天、核工业、交通等领域具有极大的应用价值。

E08-27

复合强化低温钎焊接头声致构性调控行为

肖勇
武汉理工大学

近年来新材料的涌现及新需求的诞生带来了颇具挑战的材料低温连接难题。本报告针对铝合金、蓝宝石、石墨烯薄膜等传统金属或新型非金属材料低温钎焊时面临的界面冶金结合困难、连接强度低等问题, 介绍了本团队近年来在超声波辅助低温钎焊连接领域开展的系列工作。设计并开发了一种适用于超声波辅助钎焊的复合强化低温焊料, 明确了超声波作用下焊料与母材间的冶金反应规律, 探索了钎焊界面的冶金连接机制及焊缝的冶金强化机理, 实现了铝合金、蓝宝石、石墨烯薄膜等材料在关键产品上的工程应用。

E08-28

铝合金熔铸超声场调控的若干现象及展望

陈宗宁, 赵凯, 张宇博, 王同敏
大连理工大学

超声场在液体中独有的非线性效应会引发一系列物理现象, 在铝合金熔体中施加超声波振动, 具有除气、晶粒细化、颗粒解聚等多重作用, 长久以来收到学术界广泛关注。然而, 目前铝合金熔铸过程中的超声场调控应用十分有限, 根本原因在于超声场局域干预特征与大规模生产难以并入, 缺乏非用不可的应用场景。因此, 重视发展以熔铸为基础的低成本超声场施加装备, 解决核心应用场景关键需求与超声场共性难题之间的矛盾, 是推动其走向产业化的重要路径。大连理工大学外场凝固控制团队与超声波设备制造企业深度合作, 开发高耐久性 Sialon 和改性 Si₃N₄ 工具头, 以及谐振系统专用的冷却系统, 显著提升了超声波装备在铝熔炼与铸造过程中的施加时间, 为高性能铝合金的制备加工提供了新的调控思路。

E08-29

6063 铝合金超声辅助固相扩散连接机制研究

赵普, 闫久春
哈尔滨工业大学

在大气条件下破除氧化膜并在低温条件下实现快速连接是铝合金扩散连接领域一直以来的追求。本研究将超声振动引入 6063 铝合金的固相扩散连接过程中, 采用纯 Zn 做中间层, 超声作用 10 min 就可在 360 °C 下获得全 Zn-Al 共析组织接头。超声作用下 Zn-Al 扩散系数达到 $2 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, 较相同温度下的热扩散系数高了两个数量级。通过建立“应变速率-晶体缺陷”数学模型, 耦合热-力作用下铝合金空位扩散系数和位错扩散系数, 揭示超声促进扩散机制。结果表明, 相较于热扩散, 超声作用下铝合金中位错密度

提高了 5 个数量级, 空位浓度提高了 2~3 个数量级。综合 Zn-Al 扩散系数理论值和实验值的计算结果, 超声加速扩散的实质是高应变速率驱动扩散, 变形带来的空位和位错为 Zn 原子向 Al 中的扩散提供了大量通道, 提高了扩散系数。

E08-30

基于氧空位工程调控 Sr_{0.5}Ba_{0.5}Nb₂O₆ 陶瓷的压电催化性能研究

戴剑¹, 范镇豪¹, 岳文锋¹, 黄富¹, 常云飞^{1,2}, 王大伟^{1,2}

1. 哈尔滨工业大学 仪器科学与技术学院 精密声光仪器研究所

2. 哈尔滨工业大学郑州研究院

随着环境污染不断加剧和对清洁能源的迫切需求, 研究高效的环境治理和清洁能源生产方法变得尤为重要。压电催化技术因其能将机械能转化为化学能的特性备受关注。然而, 传统的压电催化材料存在着载流子浓度低、迁移速度慢、反应活性位点不足等问题。本研究以铌酸锶钡 (Sr_{0.5}Ba_{0.5}Nb₂O₆, SBN) 压电陶瓷为例, 探索了两种调节氧空位含量的方法来增强其压电催化性能。首先是化学方法, 通过一步氢气热还原方法调控了熔盐法制备的 SBN 纳米棒的氧空位含量, 并自生 Sr_{0.5}Ba_{0.5}Nb₂O₆/Sr₂Nb₂O₇ 异质结结构, 提高了样品在有机污染物降解和产氢的效率。其次是物理方法, 利用高能球磨方法成功调节了 SBN 陶瓷的氧空位含量, 并细化了颗粒尺寸。研究表明, 随着高能球磨时间的增加, SBN 的氧空位含量逐渐增加, 但结晶度下降, 甚至转变为非晶态, 压电响应也呈现出先增强后减弱的趋势。进一步的催化实验显示, 氧空位含量适中的 SBN 样品在有机污染物降解和灭活大肠杆菌方面表现出高效的催化活性。此外, 应用第一性原理计算揭示了氧空位缺陷调控压电催化性能的物理机制。本研究为调节氧空位含量以增强压电陶瓷的压电催化性能提供了新的思路和方法, 具有重要的理论和应用价值。

E08-31

铁酸铋基无铅压电陶瓷

王大伟

哈尔滨工业大学

因具有良好的铁电性能, 铁酸铋 (BF) 基固溶体被认为是无铅功能陶瓷的候选材料。在各种 BF 基固溶体中, (1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃ (BF-BT) 在靠近或在混合相区域 (MPR) 内的组分引起了人们的关注, 该区域同时存在三方和立方多晶形态。这些成分具有较高的铁电居里温度 (TC > 400 °C), 也具有大的剩余极化 (Pr) 和饱和极化 (Ps) 以及大的压电系数 (d₃₃), 特别是对于从烧结温度淬火的样品。更重要的是, 在 MPR 内掺杂的 BF-BT 材料 (0.25 < BT < 0.35) 中广泛报告了大的电场诱导应变和应变系数。在 BF-BT 固溶体中元素的掺杂或第三成分替代 (通常是一个名义上的钙钛矿组分) 会导致铁电相向弛豫铁电相转变, 并进一步增强应变。在本报告中, 将回顾 BF-BT 基无铅压电陶瓷的高电应变的最新进展, 并讨论利用原位极化同步辐射 X 射线衍射和透射电镜的方法探究大电应变的起源。

E08-32

Enlarged Modulation Rate for Magnetoelectric Mechanical Antennas Through a Predistortion Waveform Design

Zhaoqiang Chu, Shizhan Jiang, Wei Dan, Chenyuan Yu

Harbin Engineering University

Magnetoelectric (ME) mechanical transmitter with high mechanical quality factor (Q) is normally desired to decrease the mechanical damping and thus to improve the coupling efficiency. However, a low efficiency-bandwidth product and a long time for the ring-up/down process are induced in this case, which leads to poor communication bitrate with conventional modulation schemes, i.e., Amplitude Shift Keying (ASK) and Direct Antenna Modulation (DAM). In this work, we propose a predistortion waveform design to suppress the inherent relaxation characteristics of an ME transmitter. Different from the arbitrary waveform design without any

constraints, we limit the peak voltage of the predistortion waveform three times the level of the stable value considering an economic power amplifier design. Accordingly, a modified binary amplitude shift keying (mBASK) modulation scheme is established. Experimental results show that the communication rate based on the proposed waveform design can reach 1500 bps at a 10 m communication distance, while the counterpart for conventional BASK method is only 500 bps. The proposed predistortion waveform and the established modulation method circumvents the mutual limitation between the information bandwidth and the physical bandwidth for a high-Qm mechanical antenna and is believed to speed up the communication application for ME antenna in very-low frequency (VLF) band.

E08-33

基于多频率复用超材料的可编程声镊操控与实验方法

侯泽伟

北京理工大学宇航学院

颗粒物质及其操控方法的研究对于日常生活与工业应用具有重要意义。多种颗粒操控方法已被广泛研究, 主要包括光镊、磁场、电场、声镊等方法。其中, 声镊具有适用于多种属性颗粒和可编程操控的优点, 在 3D 打印、细胞自组装和微机器人等领域有着广泛的应用前景。然而, 颗粒群体操控具有发散性, 如何可编程调控声场, 实现汇聚型力场操控, 是颗粒群体操控的关键科学问题。报告介绍了振动人工结构的设计方法, 激励出局部梯度大的共振模态, 实现了可编程振动模态调控。建立了多频率复用振动人工结构的设计理论和方法, 设计了多频率复用人工结构, 针对任意的目标颗粒图案, 如何激励多频率信号, 解决了逆向求解的挑战性问题。此外, 多频率参数化声镊, 开展颗粒群体的三维形态动态操控实验研究。研究了声学共振腔中模态与多频率辐射声场激励理论。通过同时激发多种共振模态, 建立了任意函数形式的可编程辐射声场操控理论。结合光固化打印与声镊方法, 研究了重金属、碳纳米管、纳米硅等不同颗粒排布与复合材料的 3D 打印实验方法。本文提出的操控方法实现了颗粒群体有序排布, 为颗粒群体的多形态、多功能、可重构操控提供了新的思路。

E08-34

无铅双频压电超声植入物用于无线双相脑深部刺激

蒋来明, 吴家刚

四川大学

超声波驱动的生物电子可以提供可持续供电的无线方案; 然而, 目前的超声植入系统在与铅/无铅压电材料和器件相关的生物相容性和能力收集性能方面面临挑战。在此, 我们报道了一种用于无线双相深部脑刺激的无铅双频压电超声植入物, 该植入物将两种开发的无铅夹层多孔 1-3 型压电复合元件集成在柔性印刷电路板上, 具有增强的采集性能。植入物通过便携式外部双频超声换能器提供超声动力, 可以产生临床相关频率的可编程双相刺激脉冲。此外, 我们通过啮齿动物癫痫模型展示了该超声驱动植入物用于深部脑刺激的长期生物安全治疗。该无铅材料和器件具有良好的生物相容性和良好的电学性能, 为未来植入式超声电子的发展提供了一个可选择的平台。

E08-35

超声和 Al-Ti-B 对铝合金凝固组织的影响

赵愈亮

东莞理工学院

超声振动作为一种洁净、有效的熔体处理方式, 其可以细化晶粒、减少气孔缩松等缺陷从而提高合金的力学性能。然而, 超声的细化效果受到衰减效应影响, 添加 Al-Ti-B 可以进一步提高铝合金的细化效率和力学性能。本研究通过同步辐射成像系统揭示超声熔体处理对铝合金三维组织结构的影响及作用机理。研究发现: 超声不仅可以细化合金的晶粒尺寸, 也可以细化合金中的金属间化合物及减少合金中的缩松缩

孔。

E08-36**基于弛豫铁电单晶的仿生鱼型结构双自由度压电马达**

靳浩楠, 高翔宇, 任凯乐, 李飞

西安交通大学

随着科技的不断进步发展, 对于驱动器提出更高的要求和挑战。多自由度运动、微型化、高精度等要求对于机器人关节运动、多轴光学对准和其他多自由度运动场景至关重要。然而, 对于压电驱动器而言, 要同时保证多自由度运动、微型化、高载荷能力和高分辨率是一项巨大挑战。受自然界鱼类身体和尾鳍协同运动以及超材料构造理念启发, 我们提出了一种基于 $\text{Pb}(\text{In}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PIMNT) 弛豫铁电单晶作为压电元件的人工伸长 31_z 和剪切 35_{xy} 模式的双自由度线性压电马达 ($4\text{mm}^{\text{Height}} \times 3\text{mm}^{\text{Length}} \times 3\text{mm}^{\text{Width}}$)。结果表明, 该马达能够在 X 和 Y 轴上实现双向运动, PIMNT 晶体马达的速度可达 94.8mm/s , 其单位体积的机械负载能力高达 1.39 mN/mm^3 , 比目前报道的二自由度马达的负载能力高出 10 倍。此外, 它表现出 5nm 的超高步进分辨率, 在精度和准确性方面比现有的二自由度马达高出 1-2 个数量级。同时, 通过对该双自由度压电马达的驱动信号进行调制, 使其可以在 XOY 平面内沿指定轨迹运动。该压电马达在微型机器人、纳米精密运动、自动视觉系统和触觉界面等领域具有广阔的应用潜力。

E08-37**多元 Ni 基合金超声电弧定向凝固和组织控制**

王金钊, 闵星超, 王建元, 翟薇, 魏炳波

西北工业大学

金属熔池凝固作为精密熔炼、高效连铸、智能焊接、增材制造等关键材料成型和新材料制备方法的核心工艺过程, 已经成为国内外研究和关注的热点、重难点、突破点。然而, 无论采用哪种材料何种成型工艺方法, 金属材料按时空顺序局部逐层凝固过程中, 在熔池热力学条件驱动下必然形成沿成形方向生长的粗大柱状晶和周期性铸造缺陷导致性能的各向异性, 而使成型结构服役可靠性和稳定性严重恶化。功率超声, 因其独特的声压、声流、空化、机械和热等非线性物理效应, 已成为金属熔体凝固过程调控的重要手段, 有望高效解决上述问题。

本文以 $\text{Ni}_{66.0}\text{Cu}_{28.2}\text{Mn}_{3.3}\text{Ti}_{2.5}$ 合金为研究对象, 自主研发科研实验装置将功率超声与高温合金定向凝固技术有机结合, 定量分析了合金电弧定向凝固过程固液界面振幅的变化规律, 揭示了可控超声诱导合金组织转变的内在机制, 通过调制超声实现了 Ni 合金异质结构的可控构筑。

超声电弧定向凝固过程, 随固相高度增大, 定频模式下固液界面超声振幅急剧减小至零附近; 追频模式下超声系统谐振频率逐步下降, 固液界面超声振幅先小幅升高再缓慢降低。追频模式下随定向凝固界面超声振幅的增大, $\gamma\text{-Ni}$ 相从粗大柱状晶逐渐转变为细小等轴晶组织, 晶粒尺寸细化至 10% 以下, 屈服强度提升 20%, 抗拉强度提高 23%。超声施加界面处的合金晶粒细化的主要原因, 一是界面前沿熔体中超声空化诱发的晶体形核; 二是高温固相在热力作用下的再结晶。通过追频模式下对固液界面超声振幅的调制, 实现了合金 $800\text{ }\mu\text{m}$ 到 $50\text{ }\mu\text{m}$ 范围内晶粒尺寸的控制和取向调整, 构建了 Ni 基合金异质结构。

E08-38**非接触超声雾化实验研究进展**

洪振宇, 魏仔欣, 张谨

西北工业大学

在与增材制造相关的金属制粉领域, 超声振动雾化制粉技术在粉体纯度、球形度与粒度分布等方面具有独特的优势, 应用前景广阔。然而传统的超声雾化技术均采用熔滴与超声振动头相接触的工作方式, 在这种情形下空化效应导致的振动头损伤和粉体污染比较严重, 制约了超声振动雾化制粉技术的大规模应用。为克服这些不足, 近年来我们在声悬浮技术的基础上开展了一些非接触超声雾化实验研究, 探索了包括驻

波场在内的几种非接触雾化方法，掌握了影响非接触超声雾化效果的主要因素。本报告将向大家展示我们在非接触超声雾化实验研究方面取得的最新进展，以期推动我国在该技术领域的快速进步

E08-39

用于宽带高灵敏度线阵超声换能器的交流极化方法

马金鹏，王昊，张锐

哈尔滨工业大学

超声换能器作为医学超声成像系统的核心部件，其宽频带响应和高灵敏度特性对于实现高分辨率医学超声成像至关重要。随着医疗及电子信息技术的飞速发展，对医学超声成像的分辨力要求日益提升。因此，如何有效提高超声换能器的性能，以满足日益增长的临床需求，已成为当前研究的重点。本工作通过交流极化（ACP）方法来优化基于 PZT-5H 陶瓷、PMN-PT 单晶 1-3 压电复合线阵超声换能器的带宽和灵敏度。结果表明，成功制备出-6 dB 带宽为 94.37% 的 PZT-5H 基线阵超声换能器，其插入损耗为-27.87 dB；同时，制备出-6 dB 带宽为 125.61% 的 PMN-PT 基线阵超声换能器，其插入损耗为-25.37 dB。与直流极化（DCP）换能器相比，ACP 条件下 PMN-PT 基线阵超声换能器的带宽提高了 9.78%，灵敏度提高了 5.36%。此外，ACP 换能器的图像具有更好的清晰度和更高的分辨率，其性能改善的根源在于 ACP 方法对压电复合材料机电与压电性能的提升。这项工作验证了 ACP 方法在阵列式超声换能器性能优化方面的潜力，推动了超声技术在医学、工业和科学研究等领域的发展。

E08-40

超声能场在金属激光沉积增材制造组织性能调控中的应用

果春焕，姜凤春，刁明霞，袁丁，王振，彭方超，韩筱凡，郭东生

哈尔滨工程大学材料科学与化学工程学院，哈尔滨，150001

针对金属激光沉积增材制造构件中易存在微观组织缺陷、残余应力以及各向异性等问题，目前较为成熟的后处理技术有滚压轧制、热处理和热等静压处理等。滚压轧制技术能够使整个横截面产生塑性变形，对于改善材料内部组织和消除残余应力比较有效。然而滚压轧制技术需要施加较大的压力，难以用于薄壁件和形状复杂构件；当小载荷作用于大尺寸构件时，作用效果不明显。热处理技术较为简单便捷，只需选取适当的加热温度、保温时间和冷却方法即可，但是不恰当的热处理会使零件变形或者晶粒粗化，同时对于某些合金，热处理能起到的作用很小，例如钛合金和不可热处理的强化铝合金等。对于大型结构件则需要较大设备，不仅成本高，而且大型结构件热处理过程中的温度场、应力场较难控制。同样热等静压处理不仅昂贵且操作不便，当大型工件或复杂工件需要进行后处理时，会造成工件变形或微观结构不均匀的问题。而超声外能场辅助激光沉积增材制造技术作为一种在线调控组织和性能的方法，不同于热处理技术、层间轧制技术和热等静压技术，该技术利用大功率超声波为动力源，驱动设备的冲击头高频冲击沉积件表面，有效地细化晶粒、改善应力分布、提升材料的力学性能。结合近年来所开展的钛合金、不锈钢、高熵合金以及复合材料在增材制造过程中超声能场对其增材制造组织性能调控的研究成果，提出了超声能场在增材制造过程中的“液-固”双重效应，分析了超声能场对增材制造金属材料的显微组织及其表面粗糙度、显微硬度、残余应力、耐腐蚀等性能的影响，并深入探讨了不同材料类型在激光沉积增材制造过程中超声能场的作用机理。

E08-41

铋层状材料的结构调控及其高温压电性能研究

王维佳，樊慧庆，侯丁伟

西北工业大学

铋层状结构材料是一类重要的压电材料，由于其特殊的晶体结构，具有高的居里温度、大的自发极化、低的介电损耗、高的温度稳定性以及好的抗疲劳特性等优点，在航空航天、地质勘探、和核电工业等具有高温超高温压电超声需求的应用领域具有重要的应用前景。然而，未经改性的铋层状结构材料由于其铋层

和钙钛矿层交替排列的特殊晶体结构,使其铁电极化反转受二维空间的限制,所以压电性能相对较差。目前的研究对象多为面向 600°C 左右应用的铋层状结构铁电体,难以满足更高温度上限的需求。针对以上问题,本工作通过固相合成法成功制备了一系列铋层状结构化合物,通过组分设计和工艺控制,例如采用 A 位取代、B 位取代、AB 位共取代和缺陷调控等方法,有效调控铋层状结构,以实现其铁电极化、高温压电性能、抗疲劳特性以及温度稳定性的协同提高。通过研究具有不同特点的离子取代对微观结构及结构畸变的影响规律,揭示了铋层状结构材料的自发极化来源,此外,还研究了离子取代对缺陷的产生、取向等调控作用,最终,揭示了结构调控对其高温压电性能及温度稳定性的作用机制。

E08-42

超声流变铸挤一体化制备高韧性 AZ91 镁合金研究

吕书林, 赵第甲, 李建宇, 郭威, 吴树森

华中科技大学

本文采用超声流变铸挤一体化成形 (CRSCE) 新工艺制备了高韧性 AZ91 镁合金,研究了合金的微观组织特征及力学性能。通过超声振动 (UV) 制备 AZ91 镁合金半固态浆料,随后将浆料注入铸挤一体化专用模具并在高压下凝固获得铸坯,待铸坯冷却至 200°C 时直接挤压制备出棒料。结果表明,超声处理在降低初生晶粒中 Al 元素含量的同时提高了次生晶粒中 Al 的含量。在挤压变形过程中,细化的 Mg₁₇Al₁₂ 相沿二次晶界分布,然后拉伸成狭窄的纤维带。具有适当分离距离的纤维带可以加速动态再结晶 (DRX) 过程,抑制再结晶晶粒的生长。拉伸过程中,裂纹倾向于在脆性 Mg₁₇Al₁₂ 相中萌生,并沿连续分布的 Mg₁₇Al₁₂ 进一步扩展。因此,铸坯中微小的 Mg₁₇Al₁₂ 相和挤压棒中的狭窄纤维带可以防止裂纹扩展并提高合金的韧性。所制备出的 AZ91 合金具有优异的综合力学性能,其极限抗拉强度为 326.3MPa,伸长率为 16.46%。CRSCE 方法无需对铸坯进行均匀化热处理,提供了一种短流程、高效率的制备高韧性高合金化镁合金的新方法。

E08-43

CF-PA66 超声波焊接头激光刻蚀原位 ED 结构优化设计及强化机理研究

周利^{1,2}, 黄祖来^{1,2}, 刘煜纯^{1,2}, 王新波^{1,2}, 吴家燊², 檀财旺^{1,2}, 宋晓国^{1,2}

1. 哈尔滨工业大学, 材料结构精密焊接与连接全国重点实验室, 黑龙江省哈尔滨市西大直街 92 号, 150001
2. 哈尔滨工业大学 (威海), 山东省特种焊接重点实验室, 山东省威海市文化西路 2 号, 264209

超声焊接作为一种高效、环保的碳纤维增强热塑性塑料 (CFRTP) 连接技术,逐渐受到航空航天和汽车领域研究人员关注。导能筋 (Energy Director, ED) 设计是其中的关键方面。本文采用激光刻蚀技术,在 CF-PA66 板材表面加工原位 ED。对不同表面 ED 结构 CF-PA66 超声波焊接头的微观组织、压缩-剪切性能和断口形貌等方面进行了研究,并优化了表面 ED 结构。结果表明,激光刻蚀原位 ED 技术具有集中焊接能量、降低焊点分布的随机性和分散性的优势。不同表面 ED 结构对接头剪切破坏载荷的影响较大。对于网格 ED 结构,网格大小和槽宽是影响 CF-PA66 超声波焊接接头性能的主要参数。表面 ED 结构网格大小为 1.5 mm、槽宽 0.4 mm,接头剪切破坏载荷可达 14411.9 N,相比于未原位制备 ED 的超声波焊接头提升了 80.5%。界面断面分析表明,表面 ED 结构引起的界面能量集中效应增加了有效连接面积,从而提升接头剪切破坏载荷。此外,本文采用的原位 ED 结构与融化基体的机械嵌合作用为接头的重要强化机制。

E08-44

Bi-In 共晶型合金液滴的超声吸附与凝固规律研究

陈辉, 耿德路

西北工业大学物理科学与技术学院

超声在合金凝固过程中可以起到细化晶粒、改善组织结构和提高材料性能的关键作用。本文以 Bi-77.9at%In 共晶合金为研究对象,利用超声将合金液滴由静置状态吸附到发射端表面,改变超声振幅和合金熔体温度,研究吸附过程动力学,分析合金组织形态变化规律。实验中由热像仪记录合金液滴的图像

与温度数据，以便准确分析温度变化对于合金液滴吸附和凝固过程的影响。随着熔体温度以及超声振幅的提升，共晶体系中会出现大量的 BiIn₂ 初生相，层片共晶以初生相为基底形核生长，且相比未经处理的 Bi-In 共晶合金，晶粒尺寸得到细化。

E08-45

The Frequency Tracking Based Self-Sensing Method for the Online Monitoring of Cavitation Intensity in the Ultrasonic Cavitation

Jiahao Zhang, Su Zhao

Ningbo Institute of Materials Technology and Engineering, Chinese Academy of Sciences

The cavitation intensity is usually selected as the key physical quantity to reflect the machining quality and efficiency during the ultrasonic cavitation. However, in the extreme manufacturing environment, such as high-temperature, opacity, etc., the regular acoustic and optical sensors are not working, and the online monitoring of cavitation intensity is not feasible in practice. A frequency tracking based self-sensing method is proposed to realize the online monitoring of cavitation intensity in this paper. The relationship between the frequency amplitude and cavitation intensity is analyzed for the current signal of ultrasonic transducer. Then, a cubature Kalman filtering based frequency tracking algorithm is designed to track the target-frequency of current signals online. Next, an innovation statistic distance based optimal hyperplane algorithm is put forward to enhance the precision of frequency tracking through removing the interference of measurement outliers. Finally, an online monitoring experiment of cavitation intensity is designed to verify the effectiveness of the proposed self-sensing method. The frequency amplitude of $7/2f_0$ ultrasonic ultraharmonic owns strong relevance with the cavitation intensity when the driving frequency f is fixed, and the online monitoring of cavitation intensity is realized without the additional sensors.

E08-46

电弧增材制造多相协同强化 Al-Cu 合金组织性能调控

蔡鑫祎，从保强

北京航空航天大学

面向航天大尺度高强铝合金结构高质高效电弧增材制造需求，针对电弧增材铝合金气孔缺陷、组织粗大不均，强塑性不足和力学各向异性等问题。本文基于多相多尺度协同强化设计思路，采用 ZL205A 丝材与含原位自生 TiC 颗粒的 Al-6.3Cu 丝材进行双丝共熔电弧增材制造试验。系统研究了 TiC 颗粒和 Ti/Cd 微合金元素对电弧增材 Al-Cu 合金微观组织演化行为和力学性能的影响。结果表明，原位自生纳米 Al₃Ti 和 TiC 颗粒协同引发异质形核，有效促进晶粒细化并抑制气孔。通过优化热处理工艺可诱导高密度纳米沉淀相析出，亚微米 TiC 颗粒与纳米 Cd 相可有效钉扎晶界及稳定 θ' -Al₂Cu 纳米析出相，显著提升增材构件的室温和高温强度，实现多相多尺度协同强化。

E08-47

共晶 Al-32.8%Cu 合金的超声凝固机制研究

王宝剑¹、翟薇^{*2}、魏炳波²

1. 西北有色金属研究院

2. 西北工业大学

高强超声作为一种有力的调控冶金过程与凝固组织特征的物理场手段，被广泛应用于低熔点轻质 Al 合金熔炼铸造过程中。以往研究者多聚焦于单相 Al 合金或亚共晶 Al 合金的组织调控和性能改善，而对于共晶成分点 Al 合金的超声凝固研究相对有限，其凝固规律与机制尚待揭示。本文以“非小平面-非小平面”型生长特征的共晶 Al-32.8%Cu 合金为研究对象，探究了其在高强超声场中凝固组织的演变规律，并通过原位声场探测手段获得了共晶转变过程中熔体内声压和声强的实时变化特征，揭示了超声振动对共晶

Al-Cu 合金液固相变过程中形核和生长的作用机制。结果发现,静态凝固过程中二共晶相 α (Al)和 θ (Al₂Cu)相在溶质扩散控制机制下相互依附形核并协同生长,凝固组织呈现为典型规则层片共晶形态。当在液态合金凝固过程中引入高强超声时,由于熔体温度降低引起的气体过饱和而析出,导致共晶形核阶段空化效应显著增强,瞬时声压和声强明显升高,促进了二共晶相的独立形核。同时,声流效应加速熔体中的热量传递和溶质传输,在晶粒周围形成均匀对称的温度场和溶质场,使得二共晶相耦合生长,导致非小平面 α (Al)和 θ (Al₂Cu)相发生奇异长大,形成颗粒状晶粒。拉伸实验表明,超声凝固合金的强度显著提高,抗拉强度由静态凝固时的 93.1 提高到 163.3 MPa,同时延伸率由 1.52%增大到 2.23%。

E08-48

基于新型压电材料的超声换能器研究

全熠, 费春龙, 赵天龙

西安电子科技大学

压电超声换能器是一种可以基于压电材料的正/逆压电效应实现超声信号发射与接收的声学器件。压电材料的压电性能、介电性能、声学性能及形态均对超声换能器的性能存在重要影响。本研究基于 PMN-PT、KNN 等新型压电材料体系,采用流延、织构、增材制造等手段,将材料性能与器件设计相结合,制备了基于 KNN 基织构压电陶瓷的 90MHz 高频超声换能器、15MHz 的高频声学镊子,基于增材制造手段的 PMN-PT 基聚焦超声换能器,超声换能器环阵等。成果将新型压电材料体系及制备工艺与超声换能器研究相结合。

E08-49

仿蜻蜓扑翼式磁-机-电耦合微能量采集器

常江磊¹, 高翔宇¹, 李飞¹, 董蜀湘²

1. 西安交通大学

2. 深圳大学

环境中蕴藏有丰富的各种形式能量,除了大家关注的光能、热能、风能,波浪能,其实城市环境中还普遍存在被人们忽视的振动能、磁场能。这些遍地存在的微弱能量其实也可以被采集,用于城市环境中的海量传感器自供电与物联网,从而解决大面积分布式供电,或者海量化学电池供电所产生的各种弊端。虽然目前学者们发展了各种压电式、磁电式能量采集器件,但针对环境中的微弱振动能、微弱磁场能的采集,发电能力十分微弱、有限。为了解决这一问题,受自然界蜻蜓两对(四个)翼状翅膀的高效扑翼方式的启发,团队设计了一种如图 1 所示的仿蜻蜓扑翼式振动的磁-机-电耦合微能量采集器(DWL-EH)。这种新型器件拥有四个翼状磁电悬臂梁结构,并工作在两个交叉对称反相弯曲模态。这种设计大为增强了磁-机-电耦合,能够有效地收集城市环境中杂散磁场和微弱振动能量。在弱磁场(HAC= 3 Oe, f= 50 Hz)下,小型 DWL-EH 实现了创纪录的 25.89 mWavg 高输出功率,同时也具有迄今为止最高的振动能量采集功率密度。即使在 1 Oe 的交流弱磁场下, DWL-EH 也能够产生足够的功率来直接持续点亮 510 个 LED 灯^[1]。此外,收集到的能量可以为多传感器物联网系统供电,用于实时环境监测。本研究启发了将仿生运动模式融入到能量收集器的设计灵感,为今后环境微弱能量的高效采集,提供了新的思路。也表明了自然启发的设计原则可能是未来城市环境中与物联网设备集成的能量收集器的更有效策略。

参考文献

[1] Chang, Jianglei, et al. "A dragonfly-wing-like energy harvester with enhanced magneto-mechano-electric coupling." Device 1.2 (2023).

E08-50

Electrical-mediated piezoelectricity with unraveled coupling mechanism to the domain dynamics at elevated temperatures in polycrystalline BiFeO₃

Lisha Liu

School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, 210014 Nnaging,

BiFeO_3 is a known ferroelectric with ultrahigh Curie temperature of 830 °C, however, interpretation of their performance nature at elevated high temperature remains demanding, in particular that related to its microscopic domain dynamics. In/ex situ XRD and microscope analysis demonstrate thermal-resistant domain texture to as high temperature of 750 °C. However, in situ measurements display that the piezoelectricity remain stable at ~45 pC/N until 350 °C before it disappear and reassert upon cooling back down. The complicated piezoelectric performances (i.e., poling and depoling behavior at room temperature and disappearance/recovery of piezoelectricity at elevated temperature BiFeO_3 ceramics) is possibly mediated by the electrical properties, for instance, the macroscopic resistance transition. This resistance transition has origins in its intrinsic small bandgap, while the microscopic conductive domain walls might contribute further to these behaviors through its impact on the microscopic strain mechanisms of domain wall motion and lattice strain. We show results deepen the understanding of exact piezoelectric performances of BiFeO_3 piezoceramic at both ambient atmosphere and elevated temperature, as well shed light on the evaluation of the most suitable occasions of its application.

E08-51

基于 PMN-PT 压电材料的大带宽超声换能器设计

孙恩伟, 张锐, 杨彬, 曹文武

哈尔滨工业大学仪器科学与工程学院

超声无损检测作为无损检测中应用最广泛的检测技术, 已经在许多领域中发挥着重要作用。精密制造领域的高速发展对超声检测提出了更高要求, 在检测工作中需要更高分辨率的超声检测设备。压电超声换能器作为超声无损检测设备中的核心器件, 密切影响着超声检测的测量精度。具有更高灵敏度和大带宽的超声换能器是实现高精度超声检测设备的重要因素, 这就对超声换能器中压电材料的性能具有更高的要求。如今, 超声换能器中常用的压电材料仍为 PZT-5H 压电陶瓷, 迫切需要开发新的压电材料并应用于超声换能器。

本文围绕高性能的铌镁酸铅-钛酸铅 (PMN-PT) 体系, 制备了具有高压电性能的改性 PMN-PT 压电陶瓷, 其压电常数 d_{33} 可达到 1065 pC/N, 纵向机电耦合系数 k_{33} 达到 0.77。基于改性的 PMN-PT 陶瓷和单晶, 制备了相应的 1-3 压电复合材料, 对 PMN-PT 陶瓷、单晶和复合材料的机电参数进行了测量。以环氧树脂作为基体, 采用离心法制备了不同金属粉填料比例的声匹配材料, 并设计了合适的背衬材料, 研制出具有高灵敏度和大带宽的水浸式超声换能器, 换能器中心频率在 2 MHz 左右, -6 dB 带宽达到 136%, 插入损耗为 -18.7 dB, 并进行了超声检测成像验证, 研究结果表明 PMN-PT 体系在超声无损检测型换能器领域具有应用前景。

E08-52

航空功能涂层表界面完整性参数超声检测反演原理及其应用

马志远, 陈伊家, 申浩阳, 林莉

大连理工大学材料科学与工程学院 大连 116024

热障涂层、吸波涂层等航空功能涂层缺陷、几何、结构、性能等表界面完整性参数的精准控制, 对于兼顾、平衡其综合性能至关重要。本文提出航空功能涂层表界面完整性多参数的超声检测反演原理。该原理基于超声波在涂层多界面结构中的作用机制, 将模型正则化、数据正则化与灵敏度矩阵分析相结合, 提出了面向材料的特征检测信号正则化策略, 并依据特征检测信号与表界面完整性多参数的相关性, 发展了基于灵敏度矩阵 (Sensitivity Matrix, SM) 的涂层表界面完整性多参数超声反演方法。结果表明: 该技术可以在较低的检测频率下实现 TBCs 厚度、密度、弹性模量、界面结合强度等表界面完整性参数的无损检测, 其中等离子体喷涂 Al_2O_3 涂层弹性常数 C_{11} 、 C_{13} 、 C_{33} 、 C_{44} 的反演结果分别为 158.9 GPa、44.1 GPa、244.1 GPa、31.6 GPa, 其中 C_{44} 的反演结果与实验结果之间相对误差不超过 4.5%。所提出的超声检测反演原理

为基于传统“试错法”超声检测难以解决的多参数复杂无损检测问题提供了新的解决途径。

E08-53

超声微流介导大豆油纳米乳液的制备

李婧婧¹, 武志林^{1,2}

1. 汕头大学

2. 化学与精细化工广东省实验室

大豆油因资源丰富、吸收性强、相容性高, 广泛作为油相制备脂质乳剂。以其为油相制备的纳米乳液体系在化妆品生产、食品加工、药物缓释和吸收、农药生产及石油化工等领域有广泛的应用^[1], 其制备工艺主要分为低能乳化法和高能乳化法。低能乳化法大都是将外相、内相加热到 80℃ 左右进行乳化, 然后进行搅拌冷却, 在这过程中需要消耗大量的能量, 还需要大量表面活性剂来稳定液滴。高能乳化法是生产具有高稳定性和较小粒径的系统的替代方法, 包括高速均质、高压均质, 以及超声均质, 但其能耗高, 因此通过设备设计和表面活性剂筛选是降低能耗的主要手段。超声介导制备的纳米乳液, 由于理想的液滴尺寸 (DS)、低多分散性指数 (PDI) 和优越的物理稳定性, 已被广泛研究用于功能性食品、化妆品和药品的开发^[2]。

本研究采用了一个新型超声微流反应器, 利用超声空化和微流通道的协同作用强化大豆油纳米乳液的制备, 以减小油滴粒径, 优化粒径分布, 提高乳液的稳定性^[3]。将吐温 80 和司盘 80 作为表面活性剂 (HLB 值 12, 表面活性剂质量分数 6%) 加入到去离子水中作为水相^[2]。将体积比为 9/1 的水相和大豆油混合物料形成初始物料。首先, 采用高速均质机以 7000 rpm 的速度对初始物料进行预乳化形成初始乳液, 然后将初始乳液通入 50 mL 超声微流反应器中进行乳化处理, 得到一级乳液; 对一级纳米乳液在同样乳化条件下, 再进行二次乳化处理, 得到二级乳液。研究探究了流速 (500-2000 $\mu\text{L}/\text{min}$)、温度 (45-65℃)、超声电功率 (57-77 W)、乳化次数等因素对大豆油乳液的影响。根据激光纳米粒度仪表征结果, 在本实验条件范围内, 流速越低, 乳化停留时间越长, DS 越小; 温度越高, DS 越小; 超声功率越高, DS 越小; 两次乳化会显著减小 DS 和 PDI。在优化条件下, 即流速 2000 $\mu\text{L}/\text{min}$ 、超声电功率 77 W、温度 65℃ 下, 进行 2 次超声处理, 得到粒径 60 nm、PDI 为 0.16 的透明且稳定的大豆油乳液。

参考文献

[1] I. Golfomitsou, E. Mitsou, A. Xenakis, V. Papadimitriou, Development of food grade O/W nanoemulsions as carriers of vitamin D for the fortification of emulsion based food matrices: A structural and activity study, *J Mol Liq* 268 (2018) 734–742. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.07.109>.

[2] J. Xu, X. Zhu, J. Zhang, Z. Li, W. Kang, H. He, Z. Wu, Z. Dong, Nanoemulsification of soybean oil using ultrasonic microreactor: Process optimization, scale-up and numbering-up in series, *Ultrason Sonochem* 97 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106451>.

[3] C. Peng, X. Zhu, J. Zhang, W. Zhao, J. Jia, Z. Wu, Z. Yu, Z. Dong, Antisolvent fabrication of monodisperse liposomes using novel ultrasonic microreactors: Process optimization, performance comparison and intensification effect, *Ultrason Sonochem* 103 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106769>.

E08-54

超声转换酚醌平衡调节水凝胶原位合成

Ultrasound Switchable Phenol-Quinone balance regulation of in-situ hydrogel polymerization

谭涵之, 王润泽, 陈芳, 翟薇

西北工业大学超常条件材料物理与化学教育部重点实验室

镓基液态金属(Ga-LMs)具备优异生物相容性、高导热导电性等特点, 在生物医学和柔性电子领域显示出广阔的应用前景。多巴胺 (DA) 由于其分子内大量的邻苯二酚结构, 可以在溶液中与过渡态金属形成复合物。目前具有粘附性的 PDA-Ga-LMs 基水凝胶多通过添加引发剂或超声处理实现自由基聚合, 存在生物相容性差, 工艺复杂等问题, 严重阻碍了 PDA-Ga-LMs 基水凝胶的应用。

本研究报道一种以 DA 作为表面修饰剂通过超声化学法, 将块体 Ga-LMs 分散为纳米尺度的 Ga-LMs 杂化颗粒^[1]。并以超声作为外在刺激, 加速 Ga 的解离过程, 增加溶液体系中的 Ga^{3+} 和自由电子的浓度, 调控酚醌基团平衡和 DA 与 Ga^{3+} 配位过程, 进而转换 Ga 基金属多酚网络 (Ga-MPN) 中的酚-醌平衡^[2], 引发乙烯基类单体的可控原位自由基聚合。本研究为原位自由基聚合提供了新的途径, 具有细胞亲和力, 无需添加传统引发剂, 工艺简单, 能耗低等优势, 并对 PDA-Ga-LMs 基水凝胶材料的制造具有启发。

关键字 超声, 镓基液态金属, 酚醌平衡, 自由基聚合

参考文献

[1]. Ma J, Lin Y, Kim Y-W, et al. Liquid Metal Nanoparticles as Initiators for Radical Polymerization of Vinyl Monomers[J]. ACS Macro Letters, 2019, 8(11): 1522-7.

[2]. Geng H, Zhong QZ, Li J, et al. Metal Ion-Directed Functional Metal-Phenolic Materials[J]. Chemical Reviews, 2022, 122(13): 11432-73.

E08-55

声悬浮高温小球轴向稳定性研究

王晓振^{1,2}, 吴鹏飞^{1,2}, 徐德龙^{1,2}, 林伟军^{1,2}

1. 中国科学院声学研究所

2. 中国科学院大学

声悬浮技术在无容器测量和非接触操控方面有重要应用, 特别是在高温物体物性测量方面有广阔的应用前景。当使用声波悬浮高温物体时, 传热引起的周围介质温度分布不均匀使得系统的悬浮稳定性控制变得复杂和困难。本研究针对单轴声悬浮装置中高温小球的轴向稳定性, 考虑空气介质的流热耦合, 采用有限元方法计算了高温悬浮小球周围空间的不均匀温度场和声场, 分析了直径 2 mm 的氮化硅小球在 300 K-2000 K 温度区间的轴向悬浮稳定性。结果表明在初始悬浮间距满足谐振并保持不变的条件下, 随着悬浮小球的温度升高, 小球的平衡位置降低, 并且存在能保持稳定悬浮状态的温度最大值。在小球升温的过程中, 通过反馈调节发射端-反射端间距和发射换能器的激励电压, 可以在一定程度上保持高温小球的轴向悬浮稳定性。

E08-56

超声/多孔生物质炭协同处理蓝藻破壁有机物研究

吴晓歌

扬州大学

研究背景: 目前处理蓝藻爆发的主要方式是将蓝藻打捞后进行藻水分离, 压滤。虽然经过国内外学者多年的研究, 传统的物理打捞仍然被认为是处理巢湖地区大规模蓝藻暴发最及时、最有效的应急方法之一。这种方法可以在短时间内降低水体中蓝藻的密度, 降低水体中的养分水平。我国地方政府也高度重视蓝藻爆发的抢救和处理, 将物理打捞作为控制蓝藻水华的长期战略措施。目前, 人工抽到岸边的富藻水必须先分离处理, 以免造成更多的污染。蓝藻的数量是巨大的, 如果能妥善处理, 那将是一个巨大的生物质资源, 否则只会因其自然降解释放大量 CO_2 等温室气体对环境造成二次污染。

超声细胞破壁 (cell lysis) 技术可破坏蓝藻的微观细胞壁结构, 与此同时, 爆破产生的冲击波可以在分子层面降解藻毒素等大分子失去毒性, 从而制备安全、高品质的蓝藻源有机肥。值得指出的是, 基于超声装备的生产工程可采用水作为介质, 不需要任何化学、生物反应物添加, 从而实现蓝藻源有机肥的安全、清洁、绿色生产。但是, 由于蓝藻细胞膜是弹性组织, 这往往抵消了声空化产生的机械力作用, 这使得超声细胞破壁的效率有待提高。

材料与研究技术: 选用竹炭作为基础材料, 通过 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 与 KOH 共同作为造孔剂, 改良生物质炭的结构。调整竹炭、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 与 KOH 的比例, 使生物质炭的孔隙率达到最大。通过材料表征技术获取多层状含纳米通道结构的形貌、氧缺陷、铁元素掺杂量等理化性质; 通过淬灭剂实验、电子顺磁共振技术、碘量法和对苯二甲酸荧光法分析自由基生成种类与数量。结合材料表征和自由基的测定, 同时研究改良后

的生物质炭作为声敏剂在超声的作用下，对蓝藻破壁的有效效果。

通过元素分析了解生物质炭中 C、H、O、N、P 的含量，以此了解有机物的基本组成。同时通过电子显微镜和透射电子显微镜，这些显微镜技术可以观察生物质炭的微观形貌，观察元素的负载情况。接着还要对其进行淋洗，检测淋洗液中藻毒素含量，明晰藻毒素被破坏的情况。

结果：初步结果表明，竹炭基生物质炭经过掺氮高温处理，可获得富含多种官能团的碳纳米材料。含氮基团的正电性有助于捕获带负电的蓝藻细胞。在细胞破壁实验中，超声处理时间和声敏剂浓度实现了优化。200 mg/L 的生物质炭协同 30 分钟超声处理，可去除 90% 的蓝藻细胞。在电镜结果中，大部分蓝藻/生物质炭絮体样品均显示出较高的细胞破损率。

经过超声处理的藻泥，实现了藻水分离。其中上清液水质如 COD、N、P、藻毒素浓度等均可达标排放。沉淀物具有富含有机质、高氮磷养分的特别。同时，沉淀物中的藻毒素浓度未超过世卫组织警戒表征 (1 µg/L)。本实验将用于种植主要粮食作物的土壤上，藻源有机肥替代部分化肥，考察其对土壤理化性质、微生物群落结构和酶活性的影响。

主要结论：本研究采用简易的制备方法得到的多孔生物质炭，作为声敏剂。多孔生物质炭在超声作用下表现出优异的催化活性。本工作证明了超声+生物质炭体系用于控制蓝藻水华的应用潜力。研究机制表明，超声促进 S-AOM 的降解，可导致藻细胞失稳，而生物质炭通过强化声敏剂界面官能团与水分子的相互产生更多的活性氧物种，进一步调理藻细胞表面，为吸附蓝藻破壁有机物打下了良好的基础。该研究将为高效非均相催化剂的研发与蓝藻水华的污染控制提供理论依据和技术支持。

E08-57

力诱导变色发光高分子及其超声响应性研究

袁媛，陈于蓝

天津大学

高分子力化学是研究高分子在机械力作用下的物理化学变化的学科，通过合理的分子设计，可以使宏观机械力精准可控地沿聚合物链传递至特定分子，从而调控化学反应，提供了机械能向化学能转化的途径，在基础化学和材料化学领域中可提供其他途径难以获得的新反应和新性能。将力敏感基团以共价键形式引入高分子骨架中，机械力作用下力敏感基团能够发生选择性化学键的断裂或异构化反应，其中部分力敏感基团在力作用下产生化学反应的同时，伴随颜色、荧光或化学发光等可视化信号变化，可以从微观分子水平检测聚合物材料的损伤，有助于直观灵敏监测聚合物应力分布和研究聚合物损伤机理。因此开发具有不同力响应灵敏性的可视化力敏感基团对不同力学性能高分子材料的损伤探测具有重要意义。

高分子溶液超声是研究高分子力响应性的一种重要手段，为探究新力敏感基团的力阈值、力诱导变色发光灵敏性以及高分子链断裂程度等提供有效信息。我们设计合成新型可视化力敏感基团并将其以共价键形式置于高分子主链，分别研究了力致化学发光 1,2-二氧化环丁烷衍生物、力致变色罗丹明衍生物等力敏感基团在溶液超声中的化学变化、可视化信号产生与高分子链选择性断裂情况。系统探究在超声作用下高分子链断裂动力学与力敏感基团活化速率，在微观水平阐述力致变色发光高分子的力响应灵敏性。

参考文献：

1. Qin Wu#, Yuan Yuan#, Feiyi Chen, Chenxing Sun, Huaping Xu*, Yulan Chen*, Diselenide-Linked Polymers under Sonication, ACS Macro Letters, 2020, 9, 1547-1551.
2. Yanbing Shen, Yuan Yuan*, Xiaonan Ma, Wensheng Yang, Yulan Chen*, Mechanically induced chemiluminescence of xanthene-modified 1,2-dioxetane in polymers Polymer Chemistry, 2023, 14, 4148-4152.
3. Weiye He, Yuan Yuan, Mengjiao Wu, Xinxin Li, Yanbin Shen, Zhiyu Qu, Yulan Chen*, Multicolor Chromism from a Single Chromophore through Synergistic Coupling of Mechanochromic and Photochromic Subunits; Angewandte Chemie International Edition, 2023, 62, e2022187.

E08-58

基于序构压电材料的高性能压电驱动器研究

高翔宇，靳浩楠，任凯乐，徐卓，李飞

压电材料，作为力电转换领域的基石，承载着一个多世纪的科技积淀，已然在诸如压电驱动器件、医疗超声成像探头及水下声呐系统等诸多核心技术组件中展现其不可或缺的意义。特别是序构压电材料，凭借其卓越的高压电性和高效的机电转换能力，成为学术界瞩目的焦点。

本次报告旨在深入探讨压电材料的当前研究前沿，并展示我们课题组近期在提升压电材料性能及拓展其在器件应用方面取得的突破性成果，涵盖高性能压电驱动器及其在压电微马达、自适应光学等领域的应用。长久以来，尽管锆钛酸铅基陶瓷驱动器作为行业主流，其性能提升却逐渐触顶，受限于材质本身的物理极限。应对这一挑战，近年来科研人员成功开发出压电单晶、序构压电材料等新一代材料，这些材料的压电效应相较于传统锆钛酸铅基陶瓷实现了数倍的提升，为高性能压电驱动器及马达的研发开辟了崭新天地。此进展不仅促进了压电器件的小型化与精确控制技术的飞跃，也引领了向更高效、更适应未来应用需求的压电系统设计转变。报告将介绍我们团队利用前沿压电材料所研发的一系列器件，包括但不限于基于人工构建 31-36 工作模式的微型压电马达、压电超表面及其在自适应光学系统中的新型压电驱动解决方案，展示这些技术如何推动未来智能化、微型化系统的发展边界。

E08-59

Large electrostrain with nearly-vanished hysteresis in eco-friendly perovskites by building coexistent ferroelectric glasses

Liqiang He

Xi'an Jiaotong University

One of the key questions in the development of eco-friendly piezoelectrics lies in how to achieve large hysteresis-free electrostrain responses in a facile and effective manner, to meet the requirements of high-precision electromechanical devices. Here, through integrating phase-field modeling and experimental approach, a highly effective strategy is proposed for large electrostrain outputs with negligible hysteresis in lead-free perovskite oxide ferroelectrics, by building coexistent glasses with diverse local symmetries near a quadruple point rendering low energy barriers between different polar states. Guided by phase-field simulations, a superior electrostrain of $\sim 0.21\%$ with nearly-zero hysteresis is obtained at the constructed glasses region near the quadruple point of Bi-doped $\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_{3-x}(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$ ceramics, outperforming almost state-of-the-art lead-free piezoelectric substitutions when taking both electrostrain and hysteresis into account. The strategy of building coexistent glasses near the quadruple point provides a novel design paradigm for high-performance piezoelectric materials in the application of high-precision actuators.

E08-60

Eu 掺杂 PMN-PT 的结构和性能变化

肖若愚, 宋克鑫, 陈文杰, 李飞, 徐卓

西安交通大学

高性能弛豫铁电单晶，如 PMN-PT，由于其高压电性能，在医疗超声成像的应用中起着至关重要的作用。在这项研究中，我们将 Eu^{3+} 作为掺杂离子引入 PMN-PT 单晶中，并成功生长了 2 英寸 Eu 掺杂的 PMN-PT 单晶。对 Eu 掺杂的 PMN-PT 单晶样品进行组分研究，发现晶体的 PT^{2+} 含量沿生长方向逐渐增加，而 Eu^{3+} 含量的变化相反。压电性能结果表明，Eu 掺杂 PMN-PT 单晶在直流极化时表现出 3300 pC N^{-1} 和交流极化时 4100 pC N^{-1} 的高压电系数。同时，Eu 掺杂的 PMN-PT 单晶的铁电相变温度 T_r 能够保持在 88°C ，矫顽场 E_c 在 2.7 kV cm^{-1} ，均高于未掺杂的 PMN-PT 单晶。通过对 Eu-PMN-PT 局部结构的研究，发现 Eu^{3+} 的引入使 A 位亚晶格强度的标准偏差从 3.0% 提高到 4.8%。这种现象增强了局部四方性和更高的局部结构异质性。在 PMN-PT 结构中， Eu^{3+} 的尺寸和电负性介于 A 位掺杂和 B 位掺杂颗粒之间。这可能是 Eu 掺杂后压电性能、相变温度和矫顽力场得到独特改善的原因。Eu-PMN-PT 单晶具有较高的相变温度 ($T_r > 80^\circ\text{C}$)

和矫顽场 ($E_c > 2.5 \text{ kV cm}^{-1}$) 以及高压电性能 ($d_{33} > 2500 \text{ pC N}^{-1}$), 可以适应目前成熟的医用超声换能器制备。同时这项作为改善 PMN-PT 单晶的压电性能、温度稳定性和矫顽场也提供了一种新思路。

E08-61

超声悬浮条件下钙钛矿 CsPbBr_3 溶液的蒸发结晶研究

刘雪松, 闫娜

西北工业大学

超声悬浮技术可以实现不同类型样品的稳定悬浮, 为样品提供长时间、稳定的无容器环境, 可用于金属材料、无机非金属和高分子材料等的合成与制备。声悬浮条件下液滴的蒸发传质为晶体生长提供了必须的过饱和度, 为先进功能晶体的制备另辟蹊径。同时, 开放的观测环境也为实时监测晶体生长过程提供了条件。

CsPbBr_3 作为新一代全无机卤化物钙钛矿材料, 具有优越的光电性能和良好的热稳定性, 在太阳能电池、辐射探测等方面具有广阔的应用前景。然而, 在二甲基亚砷溶液体系下常规制备的 CsPbBr_3 单晶存在宏观缺陷与杂质相析出等问题, 且制备环境的高温会诱导固态相变的发生, 为晶体质量的提高带来困难。进一步探究 CsPbBr_3 溶液体系中的相选择和生长机制、开发低温制备 CsPbBr_3 单晶的方法, 对其光电性能的提高至关重要。

本文采用超声悬浮无容器处理技术, 研究了 CsPbBr_3 溶液的蒸发结晶过程, 探究了不同浓度与溶质配比下 CsPbBr_3 溶液的相选择规律, 系统分析了结晶晶体的生长动力学行为, 开发了一种在室温下制备钙钛矿单晶的方法。不同于常规制备方法, 本研究发现, CsPbBr_3 液滴在蒸发结晶过程中主要出现橙色 CsPbBr_3 钙钛矿晶相和白色 $\text{PbBr}_2 \cdot \text{DMSO}$ 配合物晶相的竞争生长, 相选择行为与液滴体积、浓度和溶质配比相关。通过液滴侧视图像分析了溶液结晶过程中的液滴蒸发速率与长径比变化, 结合 COMSOL 数值模拟说明了声流主导的溶剂蒸发对晶体形核与生长的影响。计算了晶体生长的相关动力学参数, 发现声悬浮显著提高了 CsPbBr_3 晶体的生长速率, 阐明了液滴悬浮稳定性与配合物晶体生长形貌的相关关系。研究表明, 改变声悬浮器的参数能够控制液滴蒸发速率及悬浮状态, 从而实现对 CsPbBr_3 晶体的晶粒尺寸、晶体形貌和生长速度的主动调控, 为高性能 CsPbBr_3 晶体的室温制备提供了一种新思路。

E08-62

超声微反应器连续合成纳米水滑石的研究

高新宇¹, 董正亚^{1,2,3}

1. 汕头大学

2. 化学与精细化工广东省实验室

3. 墨格微流科技(汕头)有限公司

水滑石, 又称层状双金属氢氧化物, 由二价和三价阳离子的阳离子宿主层和有机或无机阴离子的阴离子层组成。作为一种无机功能新材料, 水滑石在阻燃剂、润滑剂、增塑剂等方面有着广泛的应用。水滑石的颗粒尺寸会直接影响其性能的优劣, 颗粒尺寸小的粉体能更好的与基体混合提高相容性, 可大大提高水滑石的性能。在合成水滑石的技术中, 共沉淀法操作简单被广泛应用, 但共沉淀法制备的水滑石粒径大且分布不均一, 难以充分发挥水滑石的性能。[1]。

本研究利用超声微通道的超强混合[2]、提高结晶度的特点, 结合共沉淀法, 以 NaOH 作为沉淀剂, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 作为镁源, 铝源、锌源, 首先通过控制超声电功率优化三元水滑石浆料的制备; 通过晶化、离心、干燥, 研磨, 进一步制备出粒径小, 结晶度高的三元水滑石粉体; 最后, 通过表面的改性, 提高水滑石粉体表面的疏水性。使用 XRD、FT-IR、SEM、CA 等方法对材料进行了表征。结果表明, 水滑石粉体的粒径随着超声电功率 (0-90 W) 的增大而减小。发现在超声电功率为 90 W, 在超声微反应器中停留时间为 30 s 时, 可以得到粒径为 71 nm 的水滑石粉体。XRD 谱图分析表明, 峰值高、且不含杂峰, 说明水滑石粉体结晶度高、不含其他杂相。CA 分析表明, 硅烷偶联剂显著影响水滑石表面的疏水性, 加入量为 10 wt% 时, 接触角为 125.9° 。

基于超声微通道的空化作用[3], 大大提高了水滑石晶核的形成速率, 从而极大地减小了颗粒尺寸, 能够有效抑制晶核的碰撞聚结, 进而大大降低颗粒的硬团聚。这为水滑石在有机材料应用方面提供了技术参考。

参考文献

1. C. Wang et al., Optimization of mg-al layered double hydroxide film preparation and corrosion resistance study on AZ91D MG alloy by multivariate polynomial regression fitting. ACS Omega, 2024,9(17) 19158–19168.
2. Xu J, Zhu X, Zhang J, Li Z, Kang W, He H, et al. Nanoemulsification of soybean oil using ultrasonic microreactor: Process optimization, scale-up and numbering-up in series. Ultrason Sonochem. 2023 Jul 1;97.
3. Peng C, Zhu X, Zhang J, Zhao W, Jia J, Wu Z, et al. Antisolvent fabrication of monodisperse liposomes using novel ultrasonic microreactors: Process optimization, performance comparison and intensification effect. Ultrason Sonochem. 2024 Feb 1;103.

墙报

E08-P01

氮化硼声学响应性凝胶的成胶机理及性能调控研究

付佳婷

中国科学院兰州化学物理研究所

本研究利用脲基化合物, 对氮化硼 (h-BN) 二维纳米材料进行表面修饰, 设计制备出一种在超声作用下可实现 PAO 润滑油发生“溶胶-凝胶”相变的新型声学响应凝胶因子, 所构成凝胶体系的相变行为高度可逆, 目前体系的最低成胶浓度可达 3%。利用流变仪研究凝胶体系中凝胶因子的结构、超声时间和功率对凝胶体系形成速率的影响, 同时研究所形成凝胶体系与基础脂的黏弹性、剪切行为和屈服强度等流变性质, 发现随着烷基链的增长, 脲基结构的修饰率逐渐降低, 但凝胶体系的机械强度升高; 随着超声输入功的增加, 凝胶体系的机械强度先升高后降低, 但均高于未超声的凝胶体系, 实现了 h-BN 声学响应凝胶体系流变性能的可控设计。

E08-P02

(K, Na)NbO₃ 基陶瓷的织构化及能量收集性能研究

吕蕊¹, 谢航¹, 刘琳婧¹, 寇蔷薇¹, 张则睿¹, 侯柏聿¹, 常云飞^{1,2}, 李飞³

1. 功能材料与声光仪器研究所, 仪器科学与工程学院, 哈尔滨工业大学, 哈尔滨 150001
2. 郑州研究院, 哈尔滨工业大学, 郑州 450046
3. 电子材料研究实验室(教育部重点实验室), 电子科学与工程学院, 西安交通大学, 西安 710049

近年来, 由于对自供电系统的迫切需求, 压电能量采集技术受到了广泛关注。然而, 压电陶瓷较差的机电转换性能限制了其功率密度的提升。本研究采用组分设计和晶向织构结合的策略制备了(K, Na)NbO₃ 基结构陶瓷。组分设计旨在陶瓷中获得高正交(O)相比比例, 以确保压电系数 d 的提升能够充分利用极化旋转的贡献。结果表明, 与随机取向陶瓷相比, 织构陶瓷的换能系数 $d_{33} \times g_{33}$ 显著提升, 同时保持了较高的正交(O)-四方(T)相变温度。电学性能的提升得益于压电各向异性、O+T 相共存和畴的小型化。在 1g 加速度下, 基于该陶瓷的悬臂梁能量采集器输出的功率密度是随机取向陶瓷的 3.4 倍。此外, 晶向织构不仅提高了输出电压, 还降低了陶瓷的电阻抗, 从而大幅提升了短路电流密度。电阻抗的降低可能与介电常数 ϵ 的提高和氧空位浓度的降低有关。这项工作为开发高性能和可持续的能源材料和设备提供了可行的途径。

E08-P03

四种新型季铵盐离子液体的超声合成及其对二氧化碳吸附性能的研究

马祥涛, 安子锴, 刘向荣

西安科技大学

采用超声法合成了 $[\text{N}_{2224}]_2[\text{Mal}]$ 、 $[\text{N}_{2224}]_2[\text{Asp}]$ 、 $[\text{N}_{2224}][\text{Pyr}]$ 和 $[\text{N}_{2224}][\text{Sul}]$ 四种新型季铵盐离子液体,并通过 FTIR、 ^1H NMR、 ^{13}C NMR、密度和粘度等测试手段对四种离子液体进行了表征。超声法与常规油浴法相比,反应时间平均缩短了 4.5 h 左右,产率平均提高了 19%左右,两种方法合成的离子液体物化性质基本一致。利用 TGA 分析了四种离子液体的热稳定性,它们的热分解温度均超过了 418.05 K,说明具有良好的热稳定性。通过重量法研究了离子液体水溶液(0.5 mol/L)对 CO_2 的吸附性能,结果表明,在 303.15 K, 1 bar 下, $[\text{N}_{2224}]_2[\text{Mal}]$ 、 $[\text{N}_{2224}]_2[\text{Asp}]$ 、 $[\text{N}_{2224}][\text{Pyr}]$ 和 $[\text{N}_{2224}][\text{Sul}]$ 水溶液的 CO_2 吸附量分别为 0.580、0.471、0.413 和 0.373 mol CO_2 /mol IL。四种离子液体分别经过 5 次吸附脱附循环,循环再生效率均超过 80%。 ^{13}C NMR 表明, $[\text{N}_{2224}]_2[\text{Asp}]$ 、 $[\text{N}_{2224}][\text{Pyr}]$ 和 $[\text{N}_{2224}][\text{Sul}]$ 对 CO_2 的吸附为两性离子吸附机理, $[\text{N}_{2224}]_2[\text{Mal}]$ 为物理吸附机理。基于 Krichevsky-Kasarnovsky 方程,计算了离子液体水溶液中 CO_2 溶解度的热力学参数,表明四种离子液体水溶液对 CO_2 的吸附均是熵驱动的过程。

E08-P04

奇异变形菌在超声悬浮场中的强化及其对内蒙古呼市低阶煤的生物降解过程研究

李恒宇, 刘向荣

西安科技大学

微生物降解煤炭具有条件温和、环境友好等特点,是煤炭绿色转化的新途径。本文首先在超声悬浮场中对不同培养时期的奇异变形菌进行强化,然后将强化后的菌种用于降解内蒙古呼市低阶煤。对培养 24h 的奇异变形菌进行超声悬浮,采用 FTIR、XPS 对悬浮前后的菌种进行分析,结果显示,经悬浮后菌种的碳含量减少,氧和氮含量增加且悬浮后菌种的-OH、 NH_2 和 C-N 官能团含量增加, $-\text{CH}_2$ 含量减少,这表明超声悬浮改变了微生物表面的元素分布,提升了菌种的代谢活性,有利于提升细菌对煤炭的降解率。降解实验结果显示,对不同培养时期的细菌进行超声悬浮,其悬浮液对煤样的降解效果普遍优于未经悬浮的对照组,尤其当细菌培养至 24h,悬浮后的菌种对煤样的降解率较未经悬浮的对照组提高了 13.86%。平板降解实验显示,培养 24h 的细菌经超声悬浮后,细菌超声悬浮液对煤样的降解圈较对照组增大约 4.85mm。采用 FTIR 和 GC-MS 分别对降解后的固、液相产物进行分析,与对照组相比发现:奇异变形菌超声悬浮液对煤样分子结构中的羟基、羧基和醛基等官能团的降解作用更强且降解后液相产物的物质种类较为丰富,悬浮后的菌种降解煤样的液相产物中总共检测到 33 种不同的化合物,未经悬浮的菌种降解煤样的液相产物中总共检测到 21 种不同的化合物,不过,悬浮与未经悬浮的细菌对煤样的主要降解产物组成相似,均包括烷烃、醇、酯和酚类等物质。

E08-P05

基于弛豫铁电单晶的双自由度超声电机

靳浩楠, 高翔宇, 任凯乐, 李飞

西安交通大学

近年来,随着工业的发展,对驱动设备提出了更高的要求,包括高精度、微型化和多自由度。与传统电机相比,多自由度电机可以在满足各种复杂驱动控制的同时减小体积,简化机械系统结构并提高系统的准确性。然而,为了实现多方向运动,报道的多 DOF 电机结构主要是复杂的夹层型和球形结构。由于这些结构的复杂性,多自由度电机的微型化难以实现,分辨率也较低 ($\geq 500\text{nm}$)。同时,传统的超声波电机主要由 PZT 陶瓷制成,其压电性能较低,使得电机的速度和负载较低,所需的驱动电压也较高。

为解决多 DOF 超声波电机微型化困难、低输出性能和高驱动电压的问题,我们制备了一种基于 $\text{Pb}(\text{In}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3\text{-Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ (PIMNT) 弛豫铁电单晶的新型双自由度线性超声波电机。电机定子由金属柱、4 块压电板和摩擦头组成。通过对电机的四块压电板施加电压控制,激发 Z 轴首振模式 (L_{1Z})、X 轴次弯曲模式 (B_{2X}) 和 Y 轴次弯曲模式 (B_{2Y})。 L_{1Z} 模式和 B_{2X} 模式的耦合使得定子沿 X 方向椭圆运动, L_{1Z} 模式与 B_{2Y} 模式的耦合使得定子沿 Y 方向椭圆运动。由于 PIMNT 晶体的超高压电性能

(d_{33} 1500 pC N-1 和 d_{31} 730 pC N-1) 以及优化的方柱结构, 电机的体积得到有效减小 (4mm×3mm×3mm), 电机的速度和负载能力得到提高。在 90V_{P-P}、271.2kHz 的电压下, PIMNT 晶体电机的速度可达 33.5mm/s, 负载可达 50mN。与 PZT 陶瓷电机相比, PIMNT 晶体电机的电压降低了 30%, 性能提高了 50%。此外, PIMNT 晶体电机的步进分辨率为 5nm, 比其他双自由度电机 (500nm) 高两个数量级。该超声波电机在航空航天、微型机器人、细胞工程和其他精密驱动领域中具有很大的应用前景。

E08-P06

超声微流控法制备壳聚糖微球

尚文强¹、董正亚^{1,2,3}、武志林^{1,2}、贾竞夫*²

1. 汕头大学

2. 化学与精细化工广东省实验室

3. 墨格微流科技(汕头)有限公司

壳聚糖是至今唯一发现的大量存在于自然界中的阳离子碱性多糖, 广泛存在于昆虫和虾蟹等甲壳类动物的外壳以及藻类、菌类等低等植物的细胞壁中[1]。具有优良的生物相容性、可降解性、蛋白质亲和性且天然无毒, 可用于制备水凝胶和纳米粒子等, 在生物医学、组织工程、食品技术、纺织工业、建筑涂料、生物传感器等领域有着广阔的应用前景[2]。其中用其制备的壳聚糖微球可用于药物载体、水处理、固定酶和细胞、伤口敷料、保鲜剂等。制备壳聚糖微球主要方法为乳化交联法, 但是传统搅拌乳化交联反应时间长, 产品粒径大, 均一度较差。

本研究采用超声微流控技术改进传统的乳化交联法制备高品质的壳聚糖微球, 以缩短反应时间, 减小微球粒径, 优化粒径分布。实验中首先将 200 mg 的壳聚糖溶解于 10 ml 的 2% (v/v) 乙酸溶液中作为水相。然后, 取 4 ml EM90 和 300 μ l 戊二醛溶解于 40 ml 的液体石蜡中, 充分混匀作为油相。接着, 将上述水相和油相混合, 采用高速均质机以 3500 r/min 转速搅拌 3 min, 进行预乳化。将预乳液以 3 ml/min 流速, 通入一个 20 kHz 的超声微流反应器, 超声振幅选择 20%。最后, 将获得的壳聚糖纳米乳液在室温下以 200 r/min 转速低速搅拌 4 h。最终产品用石油醚、无水乙醇、去离子水分别离心洗涤两次, 60 $^{\circ}$ C 下干燥得到壳聚糖微球。根据激光纳米粒度仪及扫描电子显微镜 (SEM) 表征结果显示, 制备的壳聚糖微球成球度完好, 平均粒径在 900 nm, 多分散系数小于 0.2。

参考文献

[1]壳聚糖微球的制备、改性及应用研究_许可[D].武汉科技大学, 2019

[2]张宇鑫. 吸附功能壳聚糖微球的制备与性能研究_张宇鑫[D]. 天津工业大学, 2021