

论坛二十七：纳米超细晶、梯度、异构金属论坛

分会主席：赵永好 朱运田 武晓雷 李秀艳 张勇

报告

27-01

纳米超细晶金属的工业应用难题及研究进展

赵永好

南京理工大学材料学院纳米中心

金属行业低端产品严重产能过剩、高端产品却严重不足。新型纳米超细晶金属、异构和梯度金属具有高强韧、耐磨性等优异力学性能，从而给传统金属结构材料的发展带来了机遇。

尽管纳米超细晶金属拥有诸多制备方法，但由于其制备成本高、拉伸塑性差、热稳定性低等数个瓶颈难题，目前仍不能大规模工业应用。本报告聚焦限制纳米超细晶金属工业应用的瓶颈难题，综述纳米超细晶金属规模化制备新技术、提高纳米金属的热稳定性和断裂延伸率的新进展。

27-02

铝合金梯度纳米化表面微弧氧化处理对腐蚀与疲劳性能的影响

王亚明^{1,2,*}, 王树棋^{1,2}, 邹永纯^{1,2}, 陈国梁^{1,2}, 欧阳家虎^{1,2}, 周玉^{1,2}

1. 哈尔滨工业大学 材料科学与工程学院 特种陶瓷研究所, 哈尔滨 150080
2. 哈尔滨工业大学, 先进结构功能一体化材料与绿色制造技术工业和信息化部重点实验室, 哈尔滨 150001

为改善微弧氧化处理后铝合金的抗腐蚀与疲劳性能，提出通过表面机械研磨处理(SMAT)在LY12CZ铝合金表面制备表面梯度纳米化(SNC)过渡层，再采用微弧氧化(MAO)技术对梯度纳米晶过渡层进行微结构重构，设计制备出梯度纳米化-微弧氧化(SNC-MAO)复合改性层。对比研究铝合金表面微弧氧化涂层及梯度纳米化-微弧氧化复合改性层对基体合金的疲劳损伤、腐蚀学行为的影响。结果表明，ZrO₂ 陶瓷球表面机械研磨处理 15min，使铝合金表层晶粒尺寸细化至 52.8nm，从铝合金表面深入至基体 20μm 处晶粒尺寸从几十 nm 增加至200~500nm。在 20μm厚梯度纳米晶层表面进行微弧氧化，通过消耗部分纳米晶层分别生长出厚度为 5μm、10μm 及 15μm 的陶瓷外层；微弧放电微区产生的热量不会影响膜基界面附近基体合金的组织，使与膜基界面接壤的基体仍保留为纳米晶结构。表面机械研磨处理使铝合金表层引入-14.9MPa 的残余压应力。单一微弧氧化处理后膜基界面附近基体合金应力状态为拉应力，涂层厚度分别为 5μm、10μm 和 15μm 的微弧氧化层膜基界面附近基体合金的残余应力分别为 1.84MPa、2.7MPa 和 3.1MPa。表面机械研磨处理后再进行微弧氧化处理，将传统微弧氧化处理后膜基界面处铝合金基体的残余拉应力改变为压应力，陶瓷膜层厚度分别为 5μm、10μm 和 15μm 的纳米化-微弧氧化复合改性层膜基界面附近基体合金的残余应力分别为-6.3MPa、-5.2MPa 和-4.5MPa。残余压应力使疲劳寿命与同一厚度(5μm 和 10μm)的微弧氧化层相比分别提高了 21.8%和 23.2%。电化学极化与 EIS腐蚀测试表明，随着浸泡时间增加到 360h，微弧氧化层的抗腐蚀性能逐渐下降，而梯度纳米化-微弧氧化复合改性层的抗腐蚀性能在浸泡初期降低，当腐蚀介质渗透陶瓷外层，与陶瓷外层接壤的纳米晶内层诱导致密钝化膜导致的自修复机制使其表现出更好的抗腐蚀特性。

27-03

大量间隙固溶 TiZrNb 系多主元合金研发与原子尺度表征

刘畅 教授

材料创新设计中心, 金属材料强度国家重点实验室, 西安交通大学, 西安

在合金中引入间隙元素(例如氧、碳、氮)可大幅提升其强度。然而, 传统合金内间隙元素含量通常较低($< 3 \text{ at.}\%$), 难以将强度提升至近理论极限(理论强度=剪切模量/10)。针对这一难题, 我们提出了一种新的超强高塑性合金设计策略: 通过将 TiZrNb 多主元合金作为基体, 在该合金中引入大量间隙氧原子(12 at.%), 实现了 4.2 GPa 的超高屈服强度(换算为剪切强度=剪切模量/18)和优异的均匀塑性变形能力。并且, 通过基于 4D-STEM 的自适应传播因子叠层成像技术, 我们直接观察了此固溶合金中的氧原子及其选择性间隙占位。研究发现, 氧原子在晶格中的占位与其含量直接相关, 高浓度时, 氧原子主要位于 BCC晶格的四面体间隙位置, 而非传统认为的八面体位置。我们进一步探索了纳米结构多主元合金服役于摩擦环境时的结构演化机制, 研发出了具备超高耐磨性能的合金。

27-04

Nanoscale Oxygenous Heterogeneity in FePC Glass for Highly Efficient and Reusable Catalytic Performance

Qi Chen, Lingyu Guo, Haoxiang Di, Zhigang Qi, Zhaoxuan Wang, Ziqi Song, Laichang Zhang, Lina Hu, and Weimin Wang*

Key Laboratory for Liquid-Solid Structural Evolution and Processing of Materials (Ministry of Education)

School of Materials Science and Engineering Shandong University

Metallic glass, with its unique disordered atomic structure and high density of low-coordination sites, is regarded as the most competitive new catalyst for environmental catalysis. However, the efficiency and stability of metallic glass catalysts are often affected by their atomic configuration. Thus, the design and regulation of the nanoscale structure of metallic glasses to improve their catalytic efficiency and stability remains a challenge. Herein, a non-noble component, Fe₇₅P₁₅C₁₀ amorphous ribbon, was used as a precursor to fabricate a hierarchical gradient catalyst with nanoscale heterogeneous and oxygenous amorphous structure by simple annealing and acid-immersing. The resulting catalyst offers an ultrahigh catalytic ability of $k_{SA.C0} = 3101 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ and excellent reusability of 39 times without efficiency decay in dye wastewater degradation. Theoretical calculations indicate that the excellent catalytic performance of the catalyst can be attributed to its unique heterogeneous nanoglass structure, which induces oxygen atoms. Compared to the FePC structure, the FeP/FePCO structure exhibits strong charge transferability, and the energy barrier of the rate-determining steps of the conversion of $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ to SO_4^{2-} is reduced from 2.52 to 0.97 eV. This study reveals that a heterogeneous nanoglass structure is a new strategy for obtaining high catalytic performance.

27-05

共晶高熵合金的多级异构设计及其力学行为研究

时培建^{1,2}, 钟云波², 朱运田¹

1. 香港城市大学

2.上海大学

27-06

体心立方金属的反常孪生行为

王江伟

浙江大学

27-07

脉冲电子束-真空回火硬质合金表面原位制备复合纳米强化层

彭文海

温州大学

27-08

基于高压扭转的 Al-Zn 机械合金化研究

钱陈豪

江南大学

利用高压扭转工艺（HPT）对两个半圆盘的纯Al 和纯 Zn 进行合金化处理以及合金化后的退火处理（PDA），研究了该合金的微观结构演变过程。结果表明，高压扭转处理后的Al/Zn 体系是由纳米晶相和非晶相混合组成。此外，退火后合金微观组织呈现出 150-250 nm和 50-900 nm 的双峰晶粒尺寸分布且在晶界处出现锌原子的富集，并在宏观上体现出 160%伸长率的室温超塑性。

27-09

多尺度晶粒分布诱导额外位错硬化同时提高 HCP 钛的强塑性

顾雷

南京理工大学

根据 Considère 颈缩判据，即使金属材料的加工硬化率保持不变，提高其强度也会降低其塑性。晶粒细化、变形、固溶和第二相颗粒强化这四种传统强化机制通过增加开动位错滑移的临界剪切应力来提高屈服强度，遗憾地是同时会导致加工硬化能力和塑性的降低。近年来的研究表明，引入异质结构可以产生额外的异变诱导硬化（HDI hardening），从而在提高材料强度的同时减少塑性损失。然而，得到改善的塑性普遍低于粗晶材料。本文通过等径角挤压结合退火热处理制备了具有均匀多尺度晶粒尺寸分布的大块异构纯钛，其中单个微米晶（1-4 μm ）被三维空间的超细晶包围和约束。拉伸试验表明，与粗晶钛（屈服强度为 550MPa，断裂延伸率为 26.5%）相比，多尺度晶粒分布钛具有更高的屈服强度（800MPa）和断裂延伸率（28.5%），并且异变诱导硬化效果更显著。本文报道的多尺度晶粒分布钛的综合力学性能也优于文献报道的其他类型异构钛。微观结构表征进一步揭示了硬、软区的均匀分布产生最大化的界面密度和异变诱导硬化效果。此外，异质变形还产生额外的<c+a>几何必需位错堆积在受约束的微米晶中，从而产生足够的额外加工硬化，以维持甚至略微提高塑性。我们的工作提供了一种策略，通过增加足够的额外加工硬化能

力同时提高金属材料的强塑性。

27-10

超声振动压缩镁合金的超塑性成形及性能提升

刘欢^{1*}, 马将², 江静华¹, 马爱斌¹

1. 河海大学 材料科学与工程学院, 南京

2. 深圳大学 机电工程学院, 深圳

变形镁合金板材力学性能优良、应用潜力突出, 但强基面织构特征导致其冲压、拉深等二次成形能力差, 严重削弱了其规模化应用。现有合金化、板材改性和新型轧制工艺开发等手段可以弱化织构强度, 提高其成形性, 但增加了工艺流程及组织调控的复杂性。本文提出一种镁合金板材成形新策略——超声振动压缩成形。研究发现, AZ31 镁合金板材在频率20000HZ 的超声振动压缩作用下, 圆周伸长率超过 100%, 压下量超过 80%, 即室温下实现了高应变速率大应变超塑性。其变形能力的提升与超声振动作用下合金中孪晶和位错诱导的动态再结晶的快速发生有关。此外, 压缩成形后合金的硬度和纳米模量较成形前提升, 表明该工艺具有良好的成形效果和应用前景。

27-11

高压扭转对多种二元铝合金晶粒细化、溶质偏聚及析出行为的研究

冯曼, 沙刚

南京理工大学材料科学与工程学院/格莱特纳米研究所

本研究对高压扭转 (HPT) 后三种二元 Al-Si、Al-Mg 和 Al-Cu 合金的微观组织演变和溶质再分布进行了系统研究。Si、Mg 和 Cu 表现出不同的偏析、偏聚行为, 它们也呈现出不同的微观组织。Al-1.0at% Si 和 Al-1.0at% Cu 合金在 HPT 加工过程中会发生明显的分解形成 Si 颗粒和 Al_2Cu (θ) 相, 同时位错处观察到了 Si 和 Cu 的偏析。与 Si 不同, Cu 在晶界处发生明显偏析, 溶质过剩量高达 $2.5 \pm 0.3 \text{ atom/nm}^2$ 。与此相反, Al-1.0 at% Mg 合金在 HPT 过程中没有发生分解, 部分晶界的一侧存在 Mg 贫瘠区, 但其他晶界则有明显 Mg 偏析, 溶质过剩量高达 $2.6 \pm 0.4 \text{ atoms/nm}^2$ 。Al-1Mg 和 Al-1Cu 合金的平均晶粒尺寸随着 HPT 转数的增加而减小, 但 Al-1Si 合金晶粒尺寸则出现了粗化。这项研究揭示了晶界偏析、动态沉淀和晶粒细化之间的相关性, 证明了工程溶质分布对控制铝合金超细晶微观结构的重要性。

27-12

高溶质激发微剪切带及其异构引起的 Al-Zn-Mg 合金的强韧化

吴玉娜¹, 张权¹, 陈语梦¹, 马爱斌¹, 江静华¹

1. 河海大学力学与材料学院 南京 211100

超高强韧 7xxx 系铝合金是助力“双碳”所亟需的轻量化材料。其常规设计借助多元合金化和复杂形变热处理, 不仅依赖稀土资源, 还常伴随强度-塑性倒置问题, 异构组织设计有望打破这一局限。但由于层错能高, 在铝合金中制备异构组织极具挑战。本项目提出高溶质 (7xxx 系合金主元素) 结合 ECAP 激发多重微剪切带并诱导形成混晶, 以获得超高强韧“素化”7xxx 系异构 (混晶和微剪切带多级异构) 合金。本

文以高 Zn 含量 Al-Zn(-Mg)合金为研究对象,研究 ECAP 加工工艺、室温轧制下压量等对异构组织及力学性能的影响规律,揭示 Zn、Mg 溶质原子激发合金微剪切带并诱导异构组织形成的机理及其强韧化机制。

关键词: 剪切带; 异构; 铝合金; 强韧化

27-13

异构纤维层状 ZK60 镁合金强延性协同提高机理研究

付伟*, 党鹏飞, 郭生武, 任子君, 房大庆, 丁向东, 孙军

西安交通大学, 金属材料强度国家重点实验室, 西安, 710049

克服强延性互斥的瓶颈仍然是结构材料的主要挑战,新型的异构纤维层状双峰结构设计已经成为一种强度-延性协同提高的有效策略。本研究采用常规挤压方法制备的异构纤维层状Mg-5.6Zn-0.6Zr (wt.%)合金,具有~345MPa屈服强度,~370MPa抗拉强度,以及~20.5%拉伸应变,优于目前报道的绝大多数 Mg-Zn 基合金。超高的力学性能主要归功于粗、细晶交替的异质纤维层状双峰结构。粗、细晶彼此镶嵌生长到相邻层中,赋予了良好的层间界面结合。高施密特因子和几何协调因子的共同作用,在激活大量锥面位错的同时实现了相邻晶粒位错滑移转移,有助于缓解应力集中,避免材料过早失效断裂。粗、细晶彼此交替约束,其晶界强化对屈服强度贡献为~63%,析出强化、位错强化、固溶强化对屈服强度的贡献为~37%。

关键词: ZK60镁合金, 异质纤维结构, 层状双峰晶粒, 锥面位错, 纳米析出相

27-14

纳米结构金属材料优化热稳定性方案

梁宁宁,赵永好*

南京理工大学材料科学与工程学院

纳米结构材料具有纳米尺度上的晶粒尺寸和较高的晶界体积分数,因此具备高强度、高耐磨性等先进的力学性能。然而,低的热稳定性和机械稳定性已成为阻碍其实际应用的重要问题。本文首先综述了纳米结构材料的热稳定性,然后阐述了提高纳米结构材料热稳定性的动力学和热力学策略及其协同效应。特别是动力学方法可以使纳米结构在高温下保持稳定。

本文还对微观组织构筑优良热稳定性的示例及相关机理进行了综述和讨论。最后对纳米结构材料的热稳定性进行了展望。

27-15

分级构型化钛基复合材料制备与强韧化机制

韩远飞, 陈佳婧, 李劲鹏, 刘化强, 魏子超, 吕维洁

上海交通大学材料科学与工程学院 金属基复合材料国家重点实验室

具高强度与高模量的“双高”原位自生钛基复合材料在航天领域拥有广阔的应用前景,其性能的进一步提升是国内外学者聚焦的一个挑战性课题。目前的难点之一,是如何保持原位自生钛基复合材料的高温强度前提下,避免因增强相分布的无法控制,从而导致材料塑/韧性的下降。多尺度复合与多阶结构“双重耦合”是高性能原位自生钛基复合材料发展的主要方向,本报告将汇报本研究团队在高性能原位自生钛基

复合材料研制的最新进展，核心内容为：突破以往多尺度增强体均匀增强钛基复合材料传统思路，提出分级钛基复合材料构型化设计，以提高原位自生钛基复合材料的强韧性，构筑一种微细网状 TiB 增强钛基复合材料（TMCs），利用近净成形技术实现难变形复钛基复合材料的一体化制备，并系统研究 TMCs 分级网结构形成机制与力学特性，拓展该材料的航天等国防应用。

27-16

高强耐蚀纳米结构铝合金的晶界调控策略

徐伟，张波，李秀艳，卢柯

中国科学院金属研究所

辽宁材料实验室

Al-Mg（5XXX）合金通常具有高比强度、良好的成型性和优良的焊接性能，在工业中应用广泛。但 β 相易在大角度晶界上连续析出，从而导致晶间腐蚀和应力腐蚀开裂（SCC）。采用降低合金方法可以提升 Al-Mg 合金的腐蚀抗力，但提升的幅度有限，且往往会牺牲合金的强度。为了解决这一难题，我们提出调控晶界结构至低能态来抑制合金相析出的策略。研究发现，通过动态塑性变形和适当退火处理，可以在 Al-5wt%Mg 块体合金中形成高比例（70%）的小角晶界，即使在敏化的条件下，这些小角晶界也能抑制活性相（ Al_3Mg_2 ）的析出，从而表现出优异的抗应力腐蚀性能以及良好的强塑性匹配。液氮温度下的高速剪切变形可进一步使 Al-5Mg 表层晶粒细化至 30 nm，诱发晶界弛豫，使得纳米层形成约 30% 的特殊低能晶界，由于存在压应变，在 $\Sigma 9$ 晶界上观察到 Mg 贫化而不是偏聚现象，因此即使在敏化态，该纳米层也表现出高硬度和高耐蚀的特点。这些方法为研发具有高强高耐蚀铝合金提供了新的途径。

27-17

旋锻变形技术制备纳米超细晶金属

毛庆忠，赵永好

南京理工大学材料学院纳米中心

纳米超细晶金属制备始于 1980 年代，经过四十多年的研究，已经发展出诸多制备技术，包括等径角挤压技术（ECAP）、高压扭转技术（HPT）、表面纳米化技术（SMAT）、动态塑性变形（DPD）叠轧技术（ARB）、机械合金化研磨技术（MM）、惰性气体冷凝技术（IGC）等等。尽管如此，但纳米超细晶金属工业化应用仍然难以实现，这是因为目前这些制备技术难以制备出高质量、低成本和大体积的纳米金属材料。目前可制备的纳米/超细晶结构金属材料样品宏观尺寸有限、结构和缺陷可控性差、制备技术工艺复杂，制备成本高，工业化规模制备尤为困难。而解决这一瓶颈难题的关键在于发展先进的制备技术来降低制备成本、实现大规模制备。本报告重点介绍旋锻变形技术制备纳米超细晶金属的优缺点和结构性能特点。

27-18

基于丝粉协同增材制造钛铜合金的性能研究

王艳虎

温州大学

27-19

电沉积构筑新型纳米结构 NiMo 合金

李罔睨, 史亦农, 李秀艳, 卢柯

中国科学院金属研究所

辽宁材料实验室

在金属材料中构筑纳米结构有望大幅提升材料的力学性能和服役行为, 但受限于制备技术, 纳米金属研究尚未进入 10nm 以下的真正纳米尺度范围。因此, 如何发展新型纳米结构制备技术, 将纳米金属研究推至极限尺度 ($<10\text{ nm}$), 以探求更本征的尺寸效应, 是目前纳米金属材料领域面临的重大挑战。针对这一挑战, 我们通过电解沉积法在 NiMo 合金体系中成功制备出两种新型纳米结构: 极限晶粒尺寸纳米孪晶结构和纳米晶/非晶复合结构。极限尺寸纳米孪晶 NiMo 合金在晶粒尺寸和孪晶片层厚度两个特征尺寸上均处于 10 nm 以下, 拉伸过程中从丝织构转变为板织构, 具有显著的尺寸效应, 同时表现出超高强度和良好的变形能力。纳米晶/非晶复合结构 NiMo 合金具有微观结构和化学成分的各向异性, 强度较单一极限尺寸纳米晶 NiMo 合金提升 40%, 这是由于非晶晶化机制的引入抑制了应变局域化, 并且纳米晶/非晶复合结构 NiMo 合金也表现出良好的热稳定性。这两种新型纳米结构将金属材料的结构-性能关系向极限尺度推进, 并为发展高性能纳米金属结构材料提供新的设计思路。

27-20

双种异质结构铜合金的微观组织与力学性能的研究

朱心昆

昆明理工大学 材料科学与工程学院

多种异质结构可以提高材料强度的同时保持较好的延展性。本研究结合旋锻和短时退火的方法制备双种异质结构铜合金。研究表明, 经旋锻工艺处理后, 获得细小且被拉长的变形晶粒, 且屈服强度达到 760 MPa, 延展性降低到 1.5%; 而在经过 350°C 退火 20 分钟后, 由于变形晶粒发生部分再结晶, 形成了沿径向由超细晶 (UFG)、细晶 (FG)、粗晶 (CG)

及缠结位错组成的双种异质结构铜合金, 获得屈服强度为 510 MPa、延展性为 27% 的力学性能; 优于 450°C 退火 10 min 样品 (屈服强度为 250 MPa、延展性为 32%)。此外, 在微观结构结果发现, 在变形晶粒与再结晶晶粒界面周围堆积大量几何必要位错 (GNDs), 且在靠近再结晶晶粒界面上激活了大量位错和变形孪晶。

27-21

三维空间结构叠加单原子成份信息的四维透射电子显微学技术

祝斌鹏¹, 刘吉梓^{1,2,*}

1. 南京理工大学材料科学与工程学院, 南京, 210094

2. 南京理工大学分析测试中心, 南京, 210094

透射电子显微镜（TEM）和原子探针层析技术（APT）是目前最先进的两种显微结构表征技术，各有千秋：TEM擅长形貌和晶体学结构分析，APT以揭示单原子成份信息见长。理论上，两种技术可以优势互补，将APT的结果叠加到TEM结果中，可以完美解决TEM对游离态原子无法表征的难题，也可以解决APT结果中晶体学结构信息缺失的问题。但现实是，由于APT结果在三维空间上存在严重的局部畸变，难以与“眼见为实”的TEM结果在空间上直接匹配。尽管两种技术都拥有原子尺度的分辨极限，但获得的结果往往难以互恰，给研究者们带来极大的困扰。本研究基于这一背景，通过优化APT纳米针尖试样的制样设备和方法，改制TEM样品杆，用纳米针尖试样取代TEM传统的薄片状试样，试样在完成TEM观察之后直接转移到APT设备中“原位”表征，利用TEM结果中的特征界面为APT结果的三维重构提供参考系校正局部畸变，从而实现TEM结果与APT结果互恰。本研究为贵重设备的二次技术开发和设备互关联提供了很好的范例，也为老旧设备通过技术革新实现“枯树新枝又一春”提供了新思路。

27-22

机械零部件微纳织构梯度超细晶减摩及抗疲劳制造技术

尹飞^{1,2,3}，华林^{1,2,3}

- 1.材料复合新技术国家重点实验室
- 2.现代汽车零部件技术湖北省重点实验室
- 3.武汉理工大学汽车工程学院

金属纳米材料因其优异的物理、化学性能得到世界范围内研究学者的广泛关注。报告人围绕高能量密度超声能场先进梯度纳米结构关键基础件及工程材料，在制备技术、组织性能以及应用基础等方面开展了系列研究工作：（1）发明高能量密度超声能场先进结构金属纳米材料极端制造关键技术，解决金属纳米材料晶界结构失稳科学问题，突破块体金属纳米材料晶粒细化极限，实现了超细（ $\sim 5\text{nm}$ ）块体金属纳米材料的制备；（2）提出纳米晶和金属间化合物强韧性匹配的“双相”纳米结构，开发了强塑性优异、高温稳定的结构材料，并建立了梯度纳米晶体结构细晶强化模型，系统研究了结构材料在超细纳米尺度下的塑性变形机制；（3）创新航空发动机轴承、齿轮等基础件超声能场超细晶强韧化制造新技术，利用超细晶强化机制及梯度纳米结构强韧化耦合原理，大幅提升航发轴承/齿轮基础件强韧性及服役寿命。研究成果对于推动高性能金属纳米材料及其制备技术在我国关键核心领域的工程应用具有重要的理论指导意义和社会经济价值。

27-23

变形辅助射流电沉积制备纳米孪晶铜

方铁辉
温州大学

27-24

纳米结构高熵合金变形机理原位中子衍射研究

英会强¹，兰司^{1,*}

南京理工大学材料科学与工程学院/格莱特研究院

15:55-16:20 27-25 (Invited)

面向高强韧异构高熵合金的激光表面热处理工艺研究

陈洁

温州大学

27-26

核壳结构纯钛的制备技术及力学行为研究

刘溪, 霍望图

西安理工大学

27-27

高能态纳米非晶合金的电催化性能研究

陈双琴¹, 裴超群^{1, 2}, 兰司¹, 孙保安², 冯涛¹

1. 南京理工大学材料科学与工程学院/格莱特研究所, 江苏 南京 210094

2. 中国科学院物理研究所松山湖材料实验室, 广东 东莞 523808

非晶合金(MG, 又称金属玻璃)由于具有丰富的低配位活性位点和高吉布斯自由能, 成为电化学催化剂家族中极具潜力和竞争力的新候选材料。然而, 如何实现具有无序原子结构特征的非晶合金催化性能提升仍然是一个巨大的挑战。我们设计出一种具有高能量状态的纳米结构非晶合金(NG)催化剂。利用纳米结构非晶合金中界面引入的结构不均匀特征, 大幅提升了非晶合金的能量状态, 从而带来更高效的催化性能。研究表明: (1) 脉冲电沉积法制备的 Ni-PNG 具有高度的结构非均匀性特点, 使得 Ni-PNG 具有极高的能量状态; (2) 具有高的能量状态的纳米结构非晶合金显著提高了其催化性能; (3) 具有非均匀性结构的 Ni-PNG 是制备独特的蜂窝状纳米孔结构的理想前驱体, 在尿素氧化反应(UOR)中表现出优异的催化性能; (4) 进一步以泡沫镍为基底, 得到 Ni-P 复合型多孔结构纳米非晶合金(HPNG)催化电极, 以 HPNG 自组装直接尿素燃料电池(DUFC)在性能上取得了突破, 实现了在 0.5 M 尿素浓度的溶液中可提供的最大功率密度为 38.15 mW cm⁻², 是迄今已报道的最好 DUFC 之一。

27-28

超纳梯度结构及其塑性协调行为研究

冯航旗^{1, 2}, 杨沐鑫^{2*}, 李营^{3*}, 武晓雷²

1. 武汉理工大学船海与能源动力工程学院

2. 中国科学院力学研究所

3. 北京理工大学先进结构技术研究院

27-29

CrCoNi-P 中熵合金的 Hall-Petch 关系和塑性

张杭州¹，杨沐鑫^{1*}，孙国强²，武晓雷¹

1.中国科学院力学研究所

2.钢铁研究总院