

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

A05-油气田材料
A05-Oil and Gas Materials

Organized by

Chinese Materials Research Society

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

A05-油气田材料

分会主席：周莹、张骁勇、吴传德、李永峰、任玉荣

A05-01

机械能助渗硼的工艺及渗硼层性能研究

曹宁*、马添翼、齐天一
中国石油大学（华东）

渗硼是显著提高合金材料表面耐磨性的性能的化学热处理技术。传统的盐浴和气体渗技术存在能耗高、重污染、工作环境差和安全风险大的问题，限制了渗硼技术的发展和應用。本文将机械能助渗技术与固体渗硼技术相结合，在 45 钢、40Cr 钢和 304 钢基底表面制备渗硼层，并开展稀土助剂用量、渗硼温度和保温时间等工艺优化，借助金相显微镜、X 射线衍射仪、扫描电子显微镜等手段，系统研究渗硼层厚度、物相组成、微观组织和元素分布规律，并利用动力学模型探究 45 钢渗硼层的生长动力学、硬度、耐磨性和耐蚀性。结果表明，在 45 钢和 40Cr 钢表面制备出了综合力学性能良好的单相 Fe₂B 渗层，利用机械能助渗硼工艺可以显著降低钢铁材料的渗硼温度和保温时间。随着渗硼温度的提高和保温时间的延长，渗硼层厚度增大，45 钢和 40Cr 钢渗硼层呈锯齿状并且明显厚于 304 钢的连续状渗硼层。机械能助渗技术可以使 45 钢固体渗硼的扩散激活能降低至 157.08 kJ/mol，所制备渗硼层硬度高于基体 6~10 倍，并且能显著降低工件表面的干摩擦系数。浸泡腐蚀试验发现，渗硼层可以极大提高 45 钢对 HCl 和 H₂SO₄ 耐蚀性，但在具有氧化性 HNO₃ 环境中腐蚀抗力提升不明显。综上，机械能助渗硼技术具有环保和低能耗的突出优势，有望在采油柱塞、内燃机阀体和压裂泵凡尔体等典型部件中实现应用。

A05-02

仿生自修复超疏水涂层的设计制备及防腐阻垢性能研究

刘战剑
东北石油大学

A05-03

二氧化碳腐蚀导致川南某页岩气区块管材失效分析

陈雨松*、李经伟、何封、李治钢、吕卓伦、李鸿祖、刘大凡、高杨
中国石油集团川庆钻探工程有限公司页岩气勘探开发项目经理部

随着投产时间增加和地面工艺迭代，川南某页岩气区块多次发现两相流量计撬上管材腐蚀失效情况。腐蚀失效位置均位于直管段，与常规腐蚀的弯头、三通等特殊点位不同。为解决川南某页岩气区计量撬直管腐蚀失效问题，减少对生产影响，需找出腐蚀失效产生的原因，进而采取针对性措施，提升设备完整性。本文通过分析管线服役环境、管线内流体特征、失效部位的腐蚀形貌、腐蚀产物及管线穿孔位置分布等因素，研究失效主要原因，研究结果表明直管腐蚀以二氧化碳腐蚀为主，存在细菌腐蚀。二氧化碳腐蚀的产生主要源于缓蚀剂覆盖程度不足，造成直管下方二氧化碳腐蚀严重，从上方腐蚀程度来看缓蚀剂有效果，建议加入足量的缓蚀剂，保证缓蚀剂能覆盖全管线，抑制腐蚀或减小二氧化碳腐蚀速率，同时改善焊接工艺和热处理制度，减少魏氏组织的存在，以减小腐蚀的速率。

A05-04

页岩气开采用 SEW 高抗挤套管研制何石磊*^{1,2}、陈洁明^{1,2}、李远征^{1,2}、张锦刚^{1,2}、杨晓龙^{1,2}、汪强^{1,2}、唐家睿^{1,2}

1. 中油国家石油天然气管材工程技术研究中心有限公司

2. 宝鸡石油钢管有限责任公司

为了满足川渝地区页岩气井高地层压力、长水平段及复杂管柱受力等工况对高强度石油管材的要求，在 C-Mn 钢基础上添加并优化 Cr、Mo、Nb、V、B 等元素含量，本文开发了低屈强比高强度 SEW 套管用热轧卷板，并采用“HFW 高频电阻焊+热张力减径+全管体调质热处理”制造工艺，研制开发了一种页岩气开采用 SEW 高抗挤特殊螺纹套管。对试制套管进行机械性能、几何尺寸、抗挤强度及气密封螺纹接头等试验评价，结果表明：试制套管的屈服强度 ≥ 896 MPa，抗拉强度 ≥ 965 MPa，延伸率 $\geq 22\%$ ，0℃下横向平均冲击功 ≥ 80 J，纵向平均冲击功 ≥ 110 J，具有良好的强韧性匹配；试制套管的椭圆度 $\leq 0.5\%$ ，壁厚不均度 $\leq 6\%$ ，其外压挤毁和内压爆破试验值分别高出 API 5C3 标准值 20%和 40%以上，具有优异的几何尺寸精度、外压挤毁和内压爆破性能；依据 API 5C5 试验标准，在复合载荷条件下螺纹接头拉/压效率、内/外效率均达到等管体，能够满足中深层页岩气开采用高强度套管服役要求。

A05-05**乳胶颗粒堵漏剂的研发及其现场应用**

杨军*、席仲琛、刘小会、陈万林

中国石油川庆钻探长庆井下技术作业公司

油气田开发中，井筒漏失导致的试压不住严重影响施工进度，同时出现的环空带压给现场安全生产带来严峻考验，因此需要堵漏施工来恢复井筒的完整性。本文基于反向乳液分散原理制备了一种乳胶颗粒堵漏剂，实现对微漏失有效封堵的同时可省去钻磨施工工序。乳胶型颗粒堵漏剂为低粘度水溶液体系，施工时体系中的乳胶颗粒（尺寸介于微米至毫米级）在压力作用下进入漏失孔喉，在地层温度及压力共同作用下，乳胶颗粒之间相互聚并形成胶体而堵塞流体通道。管柱内剩余堵剂仍为液体，可直接返排出井筒，实现高效堵漏。室内堵漏试验表明：对于 22MPa 下压降 1.1MPa/min 的丝扣漏失，堵后试压至 55MPa，30min 压降 0.56MPa（ <0.7 MPa），满足现场井筒试压标准。现场试验在某天然气直井进行，漏点范围 1141.89-1199.25m，堵前清水试压 20.0MPa 下 30min 压力降至 0。堵后清水试压 25MPa 下 30min 压力不降，满足现场后续施工需求。该堵漏剂为水基溶液，绿色环保，价格低廉，利于现场大面积推广。

A05-06**抗高温高压-超临界二氧化碳的新型固井材料设计与研究**

刘开强

西南石油大学

固井水泥环保持长期密封完整性是保证 CCUS 技术高效实施的关键，本研究从改变水泥基材、优选配套调控水泥水化特性的外掺料等出发，设计了满足固井作业的抗高温高压-超临界二氧化碳腐蚀的水泥浆体系；并结合 X 射线衍射、热重分析、扫描电镜和 BJH-氮吸附法测试了高温高压（90℃、120℃和 20MPa）超临界二氧化碳下的该水泥体系的碳化规律、物相组成及微观结构，以分析高温高压-超临界二氧化碳下该水泥石的碳化动力学过程及微观结构演变规律结果表明：二氧化碳向水泥石内部扩散产生明显的碳化区域，且碳化深度与时间呈线性关系，90℃和 120℃下碳化 28d 碳化深度分别为 5mm 和 7mm。碳化过程中二氧化碳与水化钙黄长石和 katoite 发生碳化反应，生成文石，且碳化 28d 时外层 aragonite 含量分别为 25.37%和 28.18%。层状结构的 a 文石填充孔径 >200 nm 的大孔，使得过渡层和外层结构更致密，同时增加孔径 <100 nm 的孔的数量。碳化后水泥石抗压强度增大，90、120℃碳化 28 天时水泥石的抗压强度分别为 23.23MPa、22.39MPa，且对比水浴养护抗压强度没有下降。上述研究成果证实，本研究设计的水泥石体系

具有良好的抗高温高压-超临界二氧化碳腐蚀的能力，为 CCUS 井的完整性提供新材料。

A05-07

多阳离子位点季铵盐表面活性剂构筑及功能化应用

纪德强

东北石油大学

A05-08

集输管线用耐微生物腐蚀焊管

牛辉

宝鸡石油钢管责任有限公司

随着我国多数油田已进入高含水期，微生物引起的管线材料腐蚀问题日益突出，我国石油天然气领域中微生物腐蚀造成的管道腐蚀损失占 15~30%，常以局部快速点蚀穿孔为主要特征，其发生发展在时间和空间上难以预测，防治极其困难。针对这一问题，研究开发了含 Cu 新型 HFW 焊管，新型管材在硫酸盐还原菌（SRB）环境中，含 Cu 钢母材、焊接接头的腐蚀速率分别为 0.0071 mm/a、0.0239mm/a。对腐蚀产物、细菌分布及形态的扫描电镜观察发现，在含 Cu 钢母材表面未发现结构完整的生物膜，腐蚀介质中的材料表面水解产生的 Cu 离子有效破坏腐蚀初期快速附着在金属表面的生物膜，含 Cu 钢焊接接头焊缝区域生物膜结构完整，有大量细菌吸附且生物活性良好，微生物膜下产生腐蚀坑造成局部膜层破裂；在 SRB 环境中新型 HFW 焊管材料的平均腐蚀速率、点蚀密度和点蚀深度均低于 L360，经过 HFW 焊接后，接头焊缝区域点蚀敏感性增强，耐蚀性能下降。

A05-09

基于单金属位点配位环境调控的本征活性优化和反应机制调变

李志达

东北石油大学

A05-10

复合型多孔催化剂在油田采出水中的处理

周映竹*、汪洋

西南石油大学

油田采出水中含有大量的有机物，包括石油烃类、多环芳烃、有机酸和染料等。这些有机物不仅对环境构成污染，还可能对人类健康产生影响。因此，开发高效、经济的降解方法对于油田采出水的处理具有重要意义。本研究针对油田采出水中的有机染料污染物，以罗丹明 B（RhB）这一典型有机染料为例，合成了一种复合光催化材料 UiO-66/g-C₃N₄ 的复合材料。该材料结合了 UiO-66 的高比表面积和化学稳定性以及 g-C₃N₄ 的可见光响应特性，以提高光催化效率并拓宽光催化材料的应用范围。首先，采用水热法合成 UiO-66，通过两部加热法制备多孔 g-C₃N₄，通过调整两者的质量比，成功制备了一系列不同比例的 UiO-66/g-C₃N₄ 复合材料。利用 X 射线衍射、扫描电子显微镜、能量色散 X 射线光谱、紫外-可见光吸收光谱（UV-Vis）等技术对材料的结构和性能进行了全面表征。在评估光催化性能的过程中，本课题采用了简单的拍照-提取 RGB 这种简单快捷可视化的方法来衡量 RhB 的降解效率，并对复合材料光催化效率进行了系统性的分析。实验表明，当 UiO-66 与 g-C₃N₄ 的质量比达到平衡状态（即 1:1 时），所得复合材料的光催化降解效率达到最佳。此外，本课题还深入探讨了样品浓度、光照强度以及水质条件等变量对光催化效率的影响，探索了复合材料实现最高降解效率的最佳反应条件。这些结果表明，所制备的复合材料具有

显著的光催化效率，为采出水治理提供了一种高效的解决方案。

A05-11

油气行业高校材料学科专业建设探索与实践

武元鹏

西南石油大学

A05-12

题目待定

张骁勇

西安石油大学

A05-13

题目待定

李永峰

中国石油大学（北京）

A05-14

题目待定

吴传德

中国石油大学（华东）

A05-15

面向国家战略，依托产教联合体的新能源材料类人才培养模式探索与实践

任玉荣

常州大学

A05-16

题目待定

吴红军

东北石油大学

A05-17

跨越界限：AI 技术推动材料学科创新与专业成长

徐井水

广东石油化工学院

A05-18

臭氧废气零能耗催化分解材料研究

朱洁、付艳、杨书镔、肖文艳、黄凌宇、唐嘉繁、温小煦、于亮、张骞*

西南石油大学

近几年由于工业的快速发展，臭氧污染问题日益严重，臭氧会对人类、动物、植物造成不可忽视的损害，因此臭氧的治理迫在眉睫。在此，我们研究出具有抗湿性的高性能、零能耗、绿色环保的过渡金属基臭氧分解催化剂。本研究利用水热制备技术合成了一种新型臭氧分解材料—碱式碳酸镍(NiCH)，并尝试了

三种不同的改性方法：复合还原氧化石墨烯(rGO)改变材料的电子结构，影响其对臭氧和水分子的吸附性能，Fe 掺杂增强了材料的吸附位点和稳定性，调整材料中的阴离子浓度改变了其表面的酸碱位点，影响了对臭氧和水分子的吸附。这三种方法均提升了 NiCH 的抗湿性能；另外，采用水热法合成了钴基材料——磷酸钴，并掺杂 Ni 改性，Ni 的引入破坏了磷酸钴的晶格条纹使得金属氧键松动从而暴露出更多的氧空位。最终合成的 $\text{Ni}_{1.2}\text{Co}_{1.8}(\text{PO}_4)_2$ 在极高湿度(RH=90%)条件下仍然拥有接近 100%的催化效率，并且具有良好的稳定性，在 65%湿度的测试条件下，经过 200 h 后的测试后依旧保持着 99%的催化效率；此外我们还创新性地将磷酸锰用于臭氧催化分解领域，并通过调节反应过程 pH 值和控制反应温度来改变磷酸锰的结构，制备得到的锰基材料——Mn-Pi/pH12-5 在 60%湿度的测试条件下，催化分解臭氧的效率在 24 h 内维持 99.5%，在 90%的极高湿度条件下催化效率也有 95%。并且反应前后 Mn-Pi/pH12-5 催化分解臭氧的活性位点 Mn^{2+} 和 Mn^{3+} 的含量保持稳定，促进了催化分解臭氧过程的循环，这有利于提高磷酸锰的稳定性。该项研究为高湿度环境下高效分解臭氧提供了可行方案。

A05-19

高性能固-固相变储热高分子纳米纤维材料

颜贵龙*、李林洵、明潇然

西南石油大学

相变储热材料是储热技术的基础，因其储热密度大、放热温度恒定等特点，受到越来越多的国内外专家的重视，极具发展前景。相变储热材料主要包括固-液和固-固相转变材料。由于固-固相转变储热材料具有不易泄露、相变潜热高等优点，其实际应用潜力巨大。从分子设计出发，可以合成不同分子构型的固-固相变储热高分子，为固-固相转变材料的开发与利用提供了有效途径。本文通过分子链创新设计，以二环己甲烷 4,4-二异氰酸酯为硬段，聚乙二醇 (PEG) 为软段，使用月桂酸二丁基锡作为催化剂和三乙酰二胺作为扩链剂，合成了 PEG-PU 高焓值相变聚合物材料。利用自制的无针静电纺丝设备制备得到了柔韧性好、比表面积大、孔隙率高的 PEG-PU 纳米纤维膜。系统研究了 PEG 分子量对纳米纤维形貌、力学强度、储热性能的影响规律，探索了在实际应用场景中热能的储存与释放能力，此材料有望在人体可穿戴的储热领域得到进一步应用。

A05-20

耐高温 γ -TiAl 合金亚稳组织调控及性能研究

张可人，张骁勇

西安石油大学

航空、航天用 γ -TiAl 合金因具有轻质、耐热、耐蚀等特点，已成为石油超深钻探领域耐高温部件的候选材料，但其面临室温韧/塑性不足的限制。开发晶粒细小、界面稳定的全片层 γ -TiAl 合金，是同时提高强度、改善韧/塑性的有效手段。本研究通过 β 相稳定元素和短时固溶处理协同调控，探索 $\alpha \rightarrow (\text{亚稳 } \gamma)$ 的亚稳组织析出效率；借助循环控温技术，明晰 $(\text{亚稳 } \gamma) \leftrightarrow \alpha_s$ 的多重变体选择规律，实现晶界结构和晶粒尺寸的控制与优化，将晶粒尺寸细化至 $20 \mu\text{m}$ ；通过力学性能和高温氧化性能进行测试，阐明了合金元素-晶粒尺寸-性能关联关系，为开发适合钻探领域用耐高温结构材料提供良好的理论基础。

A05-21

梯度诱导碳气凝胶湿气发电装置的构筑和应用研究

张学忠

西南石油大学

利用湿气与活性材料相互作用产生电能的湿气发电装置是绿色能源前沿研究热点。目前，由于设备内

部载流子扩散效率不佳,限制了输出功率和稳定性的提升。梯度结构诱导已被证明是提升碳气凝胶湿气发电性能的有效策略,但至今梯度结构的构建方法及其作用机理尚未完全明晰。为此,梯度结构的引入被认为是优化碳气凝胶湿气发电性能的有效策略。然而,梯度结构的构建方法和作用机理仍需深入研究和阐明。本研究利用芳纶纳米纤维、聚乙烯醇、氧化石墨烯、单壁碳纳米管以及介孔碳等材料,通过梯度结构设计,成功开发了一系列高性能的湿气发电装置。研究表明,梯度结构的出现显著增强了载流子的扩散效率,实现了湿气发电装置的持续高效输出。

A05-22

纤维素光子晶体材料的温致变色行为研究

李东*

西南石油大学

仿生动态结构色在传感、显示、信息加密和安全等领域有着广泛的应用。然而,结构色的转变通常取决于材料变形引起的晶格变化,导致结构色的控制不足、响应速率低以及可逆性差。本工作研究发现,一种胆甾型光子晶体可通过热诱导相分离调节螺距大小,实现了快速、线性和稳定的结构颜色调制。胆甾型光子晶体对温度变化表现出快速而灵敏的响应,可逆和稳定的颜色切换(至少100个周期,显示出优于当前报道的性能)。基于这些特性,这种光子晶体可应用在温度传感器、绘画装饰和信息安全加密等方面,为开发先进的智能响应结构彩色材料提供了新的平台。

A05-23

静电自组装碳纳米管制备的多功能玄武岩纤维增强复合材料

刘黎冰、向东*、武元鹏

西南石油大学

玄武岩纤维增强复合材料(BFRP)因其高力学性能、耐化学腐蚀、轻质等特性,被广泛应用于结构建筑、能源工业、油气开发等领域。然而,对于多功能BFRP的开发是极具挑战的。本工作研制了一种具有损伤自感知和温度敏感特性的多功能玄武岩纤维增强复合材料。首先,采用静电自组装方法将碳纳米管(CNTs)沉积在玄武岩纤维(BF)上。然后,利用强剪切力与聚芳醚腈(PEN)进行熔体混合,构建CNTs围绕BF的结构(CSB)。与不具有CSB结构的BF/PEN复合材料相比,CSB结构使BF/PEN复合材料的抗弯强度和模量分别提高了8.9%和12.9%。并且,CSB结构赋予了BF/PEN复合材料低的渗透阈值(0.82 wt% CNTs)和高的电导率(1.53×10^{-2} S/m, 1.12 wt% CNTs)。电阻和声发射实时测量的耦合证实了该复合材料具有优异的损伤自感知能力,最大测量因子为7.68。此外,该复合材料表现出优异的温度敏感行为,其电阻温度系数为0.542%/°C。本工作为具有多功能BFRP的发展和應用提供重要的指导意义。

A05-24

O3 协同 Ti/Ni 复合材料光催化降解压裂返排液组合工艺可行性研究

张瑞阳*、李仁则

西南石油大学

The environmental burden associated with hydraulic fracturing, particularly in terms of water consumption and energy-intensive flowback fluid disposal, has prompted a critical examination of more sustainable treatment methods. This study focused on the synthesis of coralline anatase $\text{TiO}_2/\alpha\text{-Ni(OH)}_2$ particles using a hydrothermal method to enhance photocatalytic efficiency through increased oxygen vacancies and improved visible light absorption. Integrating this advanced catalyst into a sedimentation-membrane separation-photocatalysis treatment sequence significantly improved the degradation of chemical oxygen demand (COD) in flowback fluids,

achieving a 98.42% reduction within a 90-minute processing time with a Ti/Ni mass ratio of 5:5. This synergistic approach supplanted conventional evaporation concentration and electrochemical degradation steps, representing a 24.18% improvement over singular material catalyst systems. These findings contribute essential insights for the refinement and optimization of external treatment protocols in shale gas fracturing operations.

A05-25

氮化硼改性玄武岩纤维/环氧树脂复合材料的力学与耐磨性能研究

郑柳、向东*、孙浩铭、武元鹏

西南石油大学

玄武岩纤维(BF)与环氧树脂之间的界面结合力较弱, 复合材料整体耐磨性不佳都是一直以来抑制玄武岩纤维/环氧复合材料应用的重要问题。为了解决这一问题, 论文研究了一种将氮化硼纳米片(BNNS)包覆到玄武岩纤维表面, 从而提升纤维复合材料的力学性能和摩擦性能的改性方法。本研究利用了多巴胺在弱碱性环境下的氧化自聚反应和多巴胺与 BNNS 的亲核反应的原理, 在 BF 表面形成均匀的 BNNS 包覆层。该方法显著增加了玄武岩纤维表面粗糙度; 改善了 BF 与环氧树脂之间的界面结合力; 提升了纤维表面与树脂基体的机械互锁, 从而提高了纤维复合材料的力学性能。并且, 凭借氮化硼纳米片的高硬度和自润滑作用, 在提升力学性能的同时, 提升复合材料的耐磨性能。研究结果表明, 该方法制备的玄武岩纤维/环氧复合材料的弯曲强度提升了 28.28%、层间剪切强度提升了 25%、界面剪切强度提升了 27.23%、磨损率降低了 43%。因此, 该氮化硼改性玄武岩纤维的研究方法对于玄武岩纤维增强环氧树脂复合材料的性能研究具有积极的指导意义。

A05-26

仿生珍珠岩结构玄武岩纤维增强复合材料抗冲击性研究

黄鑫彦凯、向东*、孙浩铭、武元鹏、李云涛

西南石油大学

本研究调查了珍珠岩独特的能量吸收行为, 珍珠岩是自然界中同时表现出超高抗冲击强度和韧性的完美材料, 其冲击强度是其矿物成分的 3000 倍。贝壳珍珠岩的卓越强度和韧性归因于其有序的“砖和砂浆”结构, 在制备纤维层压板中加入了“砖和砂浆”结构, 以增强其抗冲击性和损伤容限。采用模压成型技术制备了具有“砖和砂浆”排列的仿生层压板, 通过低速冲击和超声波 C 扫描, 结合有限元模拟, 研究了仿生层压板的抗冲击性能、损伤容限和能量耗散行为。结果表明, 珍珠岩结构有效提高了层合板的抗冲击性能和损伤容限, 珍珠岩结构导致了有限的裂纹扩展和曲折的能量耗散路径, 提出了新的机制来提高强度和韧性, 增强了承载能力。仿生层压板提供了一种对增强全厚度负载的损伤容限有效的解决方案。

A05-27

酚胺聚合物修饰玄武岩纤维/环氧树脂复合材料力学性能研究

陈超、向东*、赵春霞、李辉、王斌

西南石油大学

玄武岩纤维(BF)因具有优异的力学性能和吸引人的绿色无污染特性, 在民用、海洋和国防等领域受到了极大的欢迎。然而, 玄武岩纤维与聚合物之间较弱的界面结合力限制其大规模使用。本工作以邻苯多酚和端氨基化合物为原料, 利用温和的反应条件在 BF 表面原位生成酚胺聚合物, 并制备了玄武岩纤维增强复合材料(BFRP)。相比于未修饰 BF, 经修饰后的 BF 界面剪切强度提高了 61.7%, BFRP 的弯曲强度及模量分别提高了 38.6%、31.8%。界面和力学性能的提升归结于玄武岩纤维表面生成的酚胺聚合物, 该聚合物增加了纤维表面的粗糙度以及为纤维和树脂反应提供了更多的活性位点。本工作利用绿色环保的酚-胺反

应在 BF 表面生成酚胺聚合物, 显著提升 BFRP 的界面和力学性能, 对开发高性能纤维复合材料具有重要意义。

A05-28

多孔金属膜的制备及表征研究

杜佳旭、李燕、刘忠军*

西安石油大学

多孔金属膜独特的孔结构和金属特性使其具有优越的性能, 如高效传质、高导电性、高表面积和良好的机加性, 已成为某些高新技术领域不可或缺的一类关键核心材料, 如其可作为超级电容器柔性电极材料、质子交换膜电解水制氢 (PEM) 阳极多孔传输层等。针对以上应用领域, 本研究分别通过平板涂布和松装烧结技术成功制备了不同厚度和孔径分布的镍、钛金属多孔膜, 通过 SEM、多孔材料完整性测试仪、电子万能试验机和表面电阻测试仪重点研究了粉末粒度、烧结工艺以及膜层厚度对材料孔结构形貌、最大孔径、透气系数、拉伸性能, 以及表面电阻的影响规律。结果表明, 在烧结温度和浆料固含量一定的情况下, 随着粉末粒径减小与膜层厚度的增大, 孔隙率、透气系数均呈现增长趋势。在膜层厚度与粉末粒径一定的情况下, 随着烧结温度的增加, 膜层平均孔径与孔隙率逐渐减小。本研究最终确定了平板涂布和松装烧结技术制备厚度可控、孔结构可控金属多孔膜的可行性和技术规程, 相关结果可为高性能多孔金属膜的制备及性能优化提供借鉴和参考。

A05-29

碳纳米管改性玄武岩纤维/尼龙 6 复合材料的 3D 打印及性能研究

田禾、向东*、刘黎冰、武元鹏

西南石油大学

本文在含有聚乙烯吡咯烷酮表面活性剂的 CNT 水性分散体系中, 对短切玄武岩纤维 (BF) 进行三次循环浸渍干燥涂覆, 制备了未改性以及改性浸渍时间分别为 15min、30min、45min、60min 的玄武岩纤维增强尼龙 6 复合材料, 用于 3D 打印。结果表明, 随着浸渍时间的增加, 纤维表面碳元素含量增加, 在浸渍时间为 60min 时, 纤维表面出现了较明显的团聚现象。通过 3D 打印与传统热压方式制备出的复合材料, 力学性能吻合较好, 证明通过浸渍改性 BF 可以显著提升 BF 与尼龙 6 (PA6) 基体间的结合作用以及复合材料的力学性能, 在浸渍时间为 45min 时, 复合材料呈现出最大的力学性能提升, 3D 打印制备的复合材料拉伸强度相比于 PA6 和未改性复合材料分别提升了 122.4% 和 44.6%。实验发现, 通过向 PA6 中加入 BF 可以显著减小 3D 打印样品的翘曲程度, 通过添加改性 BF 可以进一步减小样品的翘曲程度。本研究通过对 BF 表面改性从而显著提高了 3D 打印玄武岩纤维增强 PA6 复合材料的力学性能, 改善了 PA6 材料的翘曲现象, 对于高性能 3D 打印玄武岩纤维增强聚合物复合材料的制备提供了有价值的参考。

A05-30

Green part Evaluation and Sintering behavior of binder jet printed and sintered 2024Al alloy

Yuhang Qian¹, xia lu^{*1}, senlin yi¹, jingyu chen¹, zhenyu li¹, bensheng huang¹, zhou fan¹, chao chen²

1. Southwest Petroleum University

2. Central South University

Binder jet 3D printing (BJ3DP) of aluminum alloy allows to create complex geometries from pre-alloyed powders without mould. However, the most difficult problems to overcome are the lack of effective binder, and the oxide film on the surface of aluminum powder greatly hinders the sintering densification. This study focuses on the quality of 2024Al green part printed under the different layer thickness (30, 60, 90 μ m) and resolution

(binder saturation) using self-designed binder. Subsequently, these green parts were debinded and liquid sintered 2h under different temperatures (580℃, 600℃, 620℃) in Ar or N₂ atmosphere. Finally, the effect of sintering temperature and atmosphere on the microstructures, relative density, shrinkage and microhardness were analyzed. The results show that the self-designed binder has a good printability and low debinding temperature with the viscosity of 5.6 mPas and surface tension of 28 mN/m. With the same layer thickness, the relative density of the green part gradually increases with the increase in resolution. However, it will gradually decrease with the increase in layer thickness at the same resolution. Overall, the layer thickness has a greater impact on the density change of the green part than the resolution, and the highest relative density of printed part is about 60%. With the increase in resolution at the same layer thickness, the dimensional accuracy of the green part gradually increases, but after reaching a critical value, it will decrease instead. It mainly due to that too much binder under a critical layer thickness will lead to a transverse penetration, resulting in decreased accuracy. More binder results in higher compressive strength, and the highest value is 10 MPa. For the particle size of 0-30 μm, the optimum printing parameter is 30 μm with resolution of 800*800, the saturation range should be 30%~70%. The relative density of green part sintered in N₂ atmosphere increases from 60% to 90%, while it increases to 74% sintered in Ar atmosphere. The shrinkages in X-Y-Z directions are basically the same, indicating that the printed part maintains isotropic shrinkage, which resulted from the uniform density distribution in the green part. The microstructure of sintered part in N₂ is composed of α-Al, Al₂Cu and AlN, while it is α-Al and Al₄Cu₉ in Ar. Therefore, the formation of AlN on the surface of Al powder is helpful for breakup of oxide film, and then promotes the densification, and improves the microhardness above 100 HV. The carbon content before and after sintering nearly keeps stable, which means the binder was successfully removed after sintering. To sum up, our self-designed binder is effective to print Al alloys, and the printed part should be sintered in N₂ atmosphere because the formed AlN is helpful for densification, and the optimum sintering temperature for 2024Al is 600℃.

A05-31

石墨烯改性玄武岩纤维/聚酰亚胺耐高温柔性应变传感器

贾彬、向东*、王斌、武元鹏

西南石油大学

柔性应变传感器自首次提出以来就引起了人们的广泛关注。大多数研究都集中在采用新材料或开发新结构来检测应变、温度，甚至实现多功能。然而，柔性应变传感器在高温环境中的可靠性迄今为止很少受到关注，现有的耐高温传感器由于其固有缺陷（稳定性、高加工成本等）而在进一步开发中受到限制。迫切需要一种具有高温传感能力的柔性应变传感器。因此，本文制备了一种还原氧化石墨烯 (RGO) /玄武岩纤维 (BF) /聚酰亚胺 (PI) 应变传感器。将准正弦形状的 BF 嵌入 PI 中，所制备的复合传感器具有良好的传感性能，包括高灵敏度 (GF=37.26)、高线性 (≥0.99)、0.1%的最小应变监测限和长期循环稳定性 (1000次循环)。更重要的是，制备的传感器在室温和高温都能保持稳定的传感能力。

A05-32

高酸性腐蚀环境下的 825/X65 双金属复合管的腐蚀剩余强度数值模拟

杨芯艺、黄本生*

西南石油大学

以 825/X65 双金属复合管为研究对象, 采用 ANSYS Workbench 软件对含均匀腐蚀和局部腐蚀 825/X65 双金属管缺陷尺寸对其剩余强度的影响, 获得了 825/X65 双金属复合管的 von-Mises 等效应力与变形结果分布图。结果表明: 825/X65 双金属复合管道对腐蚀缺陷的深度及其敏感, 随着腐蚀深度的提高, 825/X65 双金属复合管道的剩余强度呈线性下降。通过有限元模拟分析, 对于含均匀腐蚀缺陷的 825/X65 双金属复

合管道，腐蚀缺陷相对深度从 20%增加至 80%时，825/X65 双金属复合管道的剩余强度从 23.45 MPa 减小至 11.95 MPa。对于含局部腐蚀缺陷的 825/X65 复合管道，局部腐蚀缺陷的深度、长度和宽度对 825/X65 复合管道剩余强度影响的权重为：腐蚀缺陷深度>腐蚀缺陷长度>腐蚀缺陷宽度。通过响应面分析，发现局部腐蚀缺陷尺寸特征值与 825/X65 双金属复合管道剩余强度具有一定函数关系。

仅发表论文

分会编号-PO01

固溶温度对 00Cr21Mn4Ni1.6N 钢管组织及性能的影响

赵博*

中油国家石油天然气管材工程技术研究中心有限公司

本文采用显微光学分析、拉伸、硬度、冲击、晶间腐蚀、电化学等试验方法研究了固溶温度对 00Cr21Mn4Ni1.6N 双相不锈钢组织、力学、耐蚀性能的影响。结果表明：950~1150℃，68s 固溶可消除管成型过程中产生的加工硬化，奥氏体晶粒形貌、尺寸随固溶温度的增加发生变化，950~1000℃，组织以条状为主；1030~1080℃，组织以等轴状为主；1100℃~1150℃组织尺寸发生长大；铁素体含量随着温度的增加呈增加趋势；抗拉强度、屈服强度、硬度、冲击功随着温度的增加呈先降低再升高后降低的趋势；1150℃时，拉伸强度、屈服强度、硬度、冲击功降至最低，延伸率随着固溶温度的增加未发生较大改变。此工艺范围内，管材不发生晶间腐蚀开裂，1000~1150℃电化学电流密度稳定，阻抗较高；综合力学、耐蚀性能，1000~1100℃为 00Cr21Mn4Ni1.6N 管最优固溶温度区间。