

## 论坛三十二：多孔金属论坛

分论坛主席：汤慧萍 丁轶

## 32-01

## 高功率密度芯片热测试用流道的设计与增材制造技术

**Design and additive manufacturing technology of flow channel for thermal test of high power density chip**

傅佳宏

浙大城市学院

2010 年之前，电子芯片的制造都由国外制造商垄断，随着我国芯片设计制造厂商的崛起，智能驾驶、人工智能、智能手机、机器人等移动芯片领域的飞速发展，电子芯片使用温域已达到 $-60^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，最大功率密度也已突破  $300\text{W}/\text{cm}^2$ ，加上所有芯片必须逐片全检，对于芯片测试设备的性能要求也不断提高。因此，《中国制造 2025》将“集成电路及其专用设备”列为大力推动突破发展重点领域的第一位。针对电子芯片宽温域、高热流密度的测试需求，突破低温、常温、高温主动温控（三温 ATC）技术是关键，这其中高效热控构件的设计与制造是其瓶颈，必须进行多场协同设计，加工出复杂几何结构以满足其性能需求。该技术突破后可以解决高精度高响应控温系统的“卡脖子”问题，打破国外技术封锁与壁垒，快速占领全球高端芯片测试设备市场的制高点，同时节约能耗，提高换热效率，助推 2030/2060 碳达峰/碳中和目标的早日实现。

**关键词：**强化传热；高热流密度电子器件；多孔金属，多孔换热；3D 打印

Enhanced heat transfer; High heat flux electronic devices; Porous meta; Porous heat transfer; 3D printing

## 32-02

## 增材制造个性化多孔牙种植体

**Additive manufacturing of customised porous dental implants**

郭卉君

浙大城市学院

增材制造技术为个性化医疗器械的设计和制造提供了无限可能。本项目选择氧化锆作为原材料，基于纳米颗粒喷射增材制造技术，通过优化材料的配方和制备工艺，致力于实现种植体的多孔结构设计、表面功能化及个性化定制。主要内容包括：1）多孔结构设计及优化；2）超表面处理工艺和方法；3）具有多孔结构种植体的制备和优化；4）种植体的力学性能模拟验证和生物相容性测试。该种植体具有优异的耐腐蚀性、生物相容性和机械性能，能够提高牙种植手术的成功率，为患者提供更新型、高效、安全的治疗方案。

**关键词：**增材制造、多孔、牙种植体、氧化锆

**Keywords:** Additive manufacturing, porous, dental implants, titanium, zirconia

## 32-03

## 高吸能合金及其产业化技术

**High impact energy absorption alloys and their industrializing production technologies**

韩福生

## 中国科学院合肥物质科学研究院

高吸能合金或孪生诱发塑性钢（TWIP 钢）是一种超高 Mn 含量（20~30wt.%）的单相奥氏体钢。由于塑性变形过程中产生大量孪晶而呈现出动态 Hall-Petch 效应，因此高吸能合金具有非常优异的力学性能特别是塑性。当受到外加载荷作用时，可通过大塑性变形吸收外来能量，因此高吸能合金具有极高的能量吸收本领，不仅在一般的工程结构，而且在缓冲、爆炸与冲击防护、抗疲劳和抗震等特殊领域也有极为重要的应用前景。

高吸能合金的力学性能可通过晶体组织调控在宽范围内变化，其典型性能为：屈服强度：250~800MPa；抗拉强度：500~1300MPa；断后伸长率：30%~85%；强塑积：60~85GPa·%；冲击吸收能：270J；硬度：HB220；磁导率：1.258×10<sup>-6</sup>H/m。

高吸能合金可采用普通工业电炉冶炼、普通压延设备塑性加工，原材料为普通工业用纯金属或合金。目前，我们已经突破了超高 Mn 高吸能合金的大容量、低成本冶炼技术，产品已经应用于航天器功能结构、水路桥梁防撞阻尼网、铁路桥梁减振阻尼环、抗震建筑耗能器、磁悬浮列车无磁部件等场合，取得了良好的经济社会效益。

**关键词：**高吸能合金；TWIP 钢；爆炸与冲击防护；缓冲；抗疲劳

**Key words:** High energy-absorption alloy; TWIP steel; explosion and impact protection; buffering; fatigue performance

## 32-04

## 浅谈丝网印刷在光伏和电子行业的应用及现状

**Brief introduction to the application and current situation of screen printing in photovoltaic and electronic industry**

王凌鹏

杭州匡时科技有限公司

近年来，全球范围内的贸易摩擦不断升级，对全球供应链产生了严重影响。在全球化背景下，多国之间形成了高度依存的供应链网络。然而，贸易摩擦导致的关税提高和贸易壁垒加强，破坏了供应链的稳定性和流畅性。某些行业甚至面临着关键零部件的短缺，给企业的生产和运营带来了极大的不利影响。本文着重介绍丝网印刷工艺在光伏和电子行业的应用及现状。

**关键词：**丝网印刷，光伏丝网印刷，集成电路丝网印刷等

Screen printing, photovoltaic screen printing, integrated circuit screen printing, etc

## 32-05

## 新一代先端多孔镍催化剂

**A new generation of advanced porous nickel catalysts**

肖子辉，丁轶

天津理工大学

据 QYResearch 研究报告，2023 年全球催化剂市场规模为 259 亿美元，其中中国是全球最大的催化剂应用市场。在各类催化剂中，镍基催化剂因其价格相对低廉、活性高而被广泛应用，是最重要的金属基催化剂。相关数据显示，中国催化剂年产量超过 60 万吨，其中镍催化剂占比超过 40%。镍基催化剂主要分为骨架型和负载型镍基催化剂，其中骨架型镍基催化剂在工业界俗称为雷尼镍催化剂，已广泛应用于医药、化工等领域。相较于负载型镍基催化剂，骨架型镍基催化剂可具有更高的活性，然而过高的活性也导致骨架型镍基催化剂具有自燃的缺点，在一定程度上限制了其应用，若克服相关技术瓶颈，骨架型镍基催化剂的应用市场将得到极大的拓展。鉴于此，项目组自主开发了新一代间隙镍催化剂，兼顾性能与安全，且具有镍利用效率高、成本低等优点，在 1,4-丁二醇的合成等众多反应中表现出优异的性能，

得到了企业的认可。此外针对不同的工艺及应用场景，已形成多种成熟产品（粉体、成型），拥有多项自主知识产权。

**关键词：**多孔镍；骨架镍；1,4-丁二醇；成型催化剂

**Keywords:** Porous nickel; Skeleton nickel; 1,4-butanediol; Shaped catalysts

### 32-06

#### 粉床电子束增材制造个性化钽金属植入物的应用进展

##### Application progress of powder bed electron beam additively manufactured personalized tantalum implants

汪强兵

广州赛隆增材制造有限责任公司

面向骨肿瘤、骨创伤等临床上精准医疗的迫切需求，选用临床公认生物相容性与力学相容性最好的钽金属为原材料，发挥粉床电子束增材制造技术高能、高速、高洁净的特点，基于自主知识产权的原料及装备，开展钽金属植入物的三类医疗器械注册取证工作。目前已形成 3 大类 10 余个增材制造钽金属植入物定型产品，通过理化、生物及动物实验进行了全面且充分的有效性、安全性验证，并与多家三甲医院开展近百例临床应用，术后植入物与宿主骨界面整合良好，未发现患者有感染、骨溶解、术后并发症及术后失效的问题。项目所开发个性化电子束增材制造钽金属植入物对于打破国外钽金属产品在国内市场的垄断，促进增材制造生物医疗技术及产业发展，提高国家医疗保健和人民健康水平具有重要意义。

**关键词：**粉床电子束增材制造；个性化；钽金属；骨科植入物；临床应用

**Key words:** powder bed electron beam additive manufacturing; personalized; tantalum; implants; clinical applications

### 32-07

#### 基于纳米多孔金属电极的低铂高效液体燃料电池技术

##### Low-Pt high performance direct liquid fuel cells based on nanoporous metal electrodes

印会鸣，丁轶

天津理工大学

直接液体（甲醇、甲酸、水合肼等）燃料电池技术具有能量密度高、安全性好等特点，适合于便携式电子和应急电源等应用场景，但当前商用的电极材料存在铂族金属用量过大、成本过高的问题。基于燃料电池的工作原理和技术需求，项目组开发了基于纳米多孔金属薄膜的结构功能一体化电极催化剂，与商业化碳载铂基粉末催化剂相比，纳米多孔金属薄膜电极不仅可提供高比表面积参与电极反应，其连续的金属骨架和孔洞，还可提供快速的电子传导和物料传输。在电池输出功率密度相当的情况下，基于纳米多孔金属薄膜电极的液体燃料电池，铂族金属用量可降低 70%以上，燃料电池电堆成本下降 50%以上。目前，项目团队已基于自主研发的多孔金属薄膜电极，完成从电极材料、膜电极到燃料电池电堆和电源系统的全链条工艺路线探索，申请多项发明专利并获得授权。

**关键词：**纳米多孔金属，电极材料，低铂，液体燃料电池

**Keywords:** nanoporous metal; electrode; low-Pt; direct liquid fuel cell

### 32-08

#### 3D 打印骨科多孔金属假体的研制及应用

##### Development and application of 3D printed porous metal prostheses in orthopedics

张春秋

嘉思特医疗器材（天津）股份有限公司

关节置换术在全球范围内已成为一种拯救晚期关节病变患者的行之有效的方法,被誉为 20 世纪骨科发展史的重要里程碑之一。近年来随着人工髋和膝关节置换增长迅速,关节置换有效地根除晚期关节病痛、恢复正常的运动功能,可以重返工作岗位,极大地提高病人的生活质量。3D 打印骨科多孔金属假体正在被优先广泛使用,嘉思特医疗器材(天津)股份有限公司通过骨科金属假体设计、制造及应用技术,着重解决假体部分区域骨不长或骨长入不均、增加骨长入界面整合强度、提高假体运动界面抗磨损性能,减少假体松动、翻修等问题,研制了系列髋、膝 3D 打印骨小梁假体;为解决临床上骨植入物假体磨损碎屑带来的骨松动骨溶解等问题,推出锆铌金属陶瓷系列产品,为打造国内外一流的 3D 打印金属假体正积极研发工作。

**关键词:** 假体, 3D 打印, 多孔金属, 钛合金, 锆铌合金

**Keywords:** Prosthesis, 3D printing, porous metal, titanium alloy, zirconium niobium alloy

## 32-09

### 高比强增材制造多孔点阵结构设计

#### Structural Design of Additive Manufacturing Lattice Structures with High Specific Strength

丁超

浙大城市学院

结构轻量化设计一直是航天航空、汽车工程、生物医疗等诸多工程领域不变的追求,随着增材制造技术的发展与普及,结构设计自由度得以大幅提高,可以通过更精细、更复杂的结构设计获取更高的力学性能。本技术通过引入具有高比强性能的多孔点阵结构,突破传统实体致密构件性能局限,为各类产品的轻量化设计提供空间。本技术从微观结构设计和宏观结构设计两方面出发,对结构的力学性能进行双层级强化。微观层面通过对传统杆状立方体点阵微结构的稳定性分析及优化设计,形成具有高比强的新型立方管点阵构型,其抗压强度较传统杆状点阵结构可提升 110%,屈服比强度可超 250 MPa·cm<sup>3</sup>/g;宏观层面,通过渐进节点优化算法对杆系结构的形状进行调整,形成宏观结构形状的最大刚度设计。通过宏、微观的双层面强化,可形成具有轻质、高强性能的新型产品结构设计。

**关键词:** 增材制造; 高比强; 结构优化; 轻量化

**Keywords:** Additive manufacturing; High specific strength; Structural optimization; Lightweight

## 32-10

### 梯度多孔金属材料制备工艺关键技术开发

#### Development of key technologies used in the preparation of graded porous metal materials

陶应啟 王吉应 骆仁智

浙江省冶金研究院有限公司

基于材料制备与成形一体化思路,将分层堆积模压与近熔点烧结技术有机融合,通过近净成型方法制备梯度金属多孔过滤材料。精度控制层粉末选型与梯度层厚,实现同步收缩烧结,有效解决连续梯度金属多孔材料烧结过程中出现的变形、开裂问题,开发出过滤精度达 0.3-1 μm、相对透气系数 $\geq 200 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kPa}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 、透过率 $\geq 99.5\%$ 、耐压强度 $\geq 2.5 \text{ MPa}$ 的梯度金属多孔材料。将材料热力学和动力学理论计算植入分层堆积模压烧结成形系统中,实现梯度金属多孔材料孔隙结构导向设计和全流程可控制备,引领梯度金属多孔材料设计-制备-性能有效调控,使梯度金属多孔材料研究由“试错法”向科学化跨越,为我国先进装备关键过滤分离部件的设计和制备提供理论支持。

**关键词:** 分层堆积模压烧结; 梯度多孔金属; 过滤分离; 导向设计; 全流程可控

**Keywords:** Laminated deposit die sintering; Graded porous metal; Filtration separation; Oriented

design; Whole process controllable

32-11

### 多孔金属、金属复合泡沫及高端金属粉末

#### Porous metals, metal matrix syntactic foams and advanced metal powders

赵玉园

宁波工程学院

宁波工程学院轻质材料研究团队由国家级人才创立，在多孔金属、金属基复合泡沫、金属粉末等材料的制备、性能与应用研究方面具有一定的国际影响力。团队具有产业化潜力的技术成果包括：

多孔金属。具有烧结溶解法制备多孔金属的专利，该方法可以制备多孔铜、镍等多种金属与合金，产品具有开孔、孔径（>50 微米）孔隙率（50-85%）可控等优点，在主被动散热、吸声降噪、生物探测等领域有广泛应用前景。

金属基复合泡沫材料。掌握渗流法制造铝基复合泡沫的核心技术，通过选用合适的空心陶瓷球和控制陶瓷球的比例，可以调制复合泡沫的坍塌强度和塑性变形量。在结构轻量化、冲击能吸收、车辆防护等领域有应用前景。

金属粉末。掌握银包铜粉末的制备技术，在光伏电池、电接触材料等领域有巨大的市场前景。掌握离心雾化制粉技术，在制造高温合金、钛合金、稀土金属等高端粉末方面，具有技术优势。

**关键词：**多孔金属，金属复合泡沫，金属粉末，粉末冶金，散热器

Porous metal, metal matrix syntactic foam, metal powder, powder metallurgy, heat exchanger