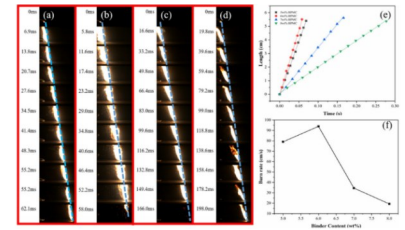


### 南京理工大学采用3D打印技术制备了nAl/pCuO/HPMC增强燃烧和点火性能

纳米铝热剂具有较高的能量密度和较好的燃烧反应性能,成为近年来的研究热点,但金属燃料和氧化剂颗粒团聚问题制约了其燃烧反应和能量释放。为了提高金属燃料与氧化剂的接触面积,减少纳米颗粒的团聚,南京理工大学张文超教授团队以羟丙基甲基纤维素(HPMC)为黏结剂,选择多孔片状氧化铜(pCuO)作为氧化剂,制备了nAl/pCuO/HPMC含能油墨,采用3D打印技术制备了含能薄膜。研究发现,当HPMC含量为7%时,含能油墨具有良好的印刷精度。详细研究了nAl和pCuO的颗粒尺寸和形貌对打印精度与燃烧反应性能的影响,当pCuO粒径较大时,nAl/mCuO/HPMC不能连续印刷;当nAl粒径较大时,单层薄膜不能在玻璃基板上持续燃烧。通过3D打印成膜技术可将nAl/pCuO/HPMC的燃速( $32.56 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ )提高6倍。将该薄膜集成在SCB微点火器,实现了成功点火,nAl/pCuO/HPMC的(7% HPMC,  $\phi=1.4$ )压力上升时间最短( $46.7 \mu\text{s}$ ),增压速率最大( $1661.7 \text{ GPa}\cdot\text{s}^{-1}$ )。这一研究为提高纳米铝热剂点火燃烧性能及其在器件中集成应用提供了重要的途径。

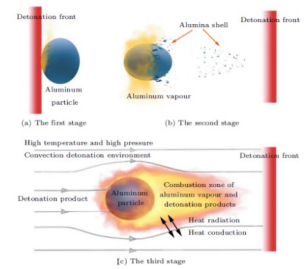
源自: J. Y. Xu, Y. J. Chen, W. C. Zhang, Z. L. Zheng, C. P. Yu, J. X. Wang, C. K. Song, J. H. Chen, X. T. Lei, K. F. Ma. Direct ink writing of nAl/pCuO/HPMC with outstanding combustion performance and ignition performance. *Combust Flame*, 2022, 236: 111747.



### 北京理工大学研究了爆轰环境下铝粉的燃烧机理

铝粉作为一种高能金属燃料,已被广泛用于复合高能炸药,通过与爆轰产物的二次反应提高爆炸能量和毁伤威力。研究爆轰环境下铝颗粒的燃烧过程和机理,对于深入认识含铝炸药的爆炸反应机理、提高含铝炸药的能量释放率、丰富金属粉末燃烧的理论模型具有重要意义。北京理工大学研究了高温和高压爆轰环境中铝粉高速运动下的燃烧反应机理,建立了铝颗粒的燃烧模型,并基于该模型,得到了爆轰环境下铝颗粒燃烧控制方程,从控制方程可以看出,铝颗粒的燃烧时间主要受粒径、系统温度和扩散系数影响。计算结果表明,系统温度越高、扩散系数越大、粒径越小,铝颗粒的燃烧速度越快,燃烧时间越短。在考虑铝粉粒度分布特性后,将燃烧控制方程的应用从单个铝颗粒扩展到非均匀铝粉,计算出的铝粉峰值燃烧速率对应的时间与实验结果吻合较好。该方程可以定量描述铝粉在不同爆轰环境下的燃烧行为,为定量计算铝粉在爆轰环境下的燃烧过程提供技术手段。

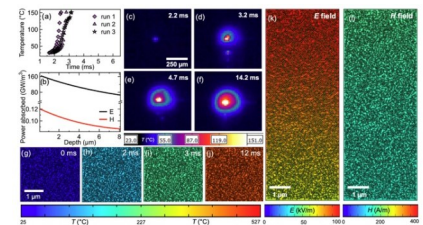
源自: J. X. Nie, R. Z. Kan, Q. J. Jiao, Q. S. Wang, X. Y. Guo, S. Yan. Studies on aluminum powder combustion in detonation environment [J]. *Chin Phys B*, 2022, 31: 044703.



### 美国马里兰大学通过3D打印技术制备了高能铝基复合粒子,并研究了微波刺激下的点火性能与机制

相比电、光等刺激,微波具有快速高效的特征,可作为含能材料点火的重要途径。美国马里兰大学 Michael R. Zachariah 教授团队使用3D打印技术制备纳米铝(nAl)/氧化锰( $\text{MnO}_x$ )复合粒子,并首次证明该复合粒子可以在微波辐射下以 $\sim 10^4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速率快速被加热。红外测温实验表明,随着 $\text{MnO}_x$ 含量的增加,样品中的加热速率可增加几个数量级。在试验的基础上,基于材料介电和热物理性质的模型,计算结果表明微波刺激下通过电场作用是加热nAl/ $\text{MnO}_x$ 的主导机制。微波可以有效加热并控制nAl/ $\text{MnO}_x$ 高能铝基粒子的点火过程,其中氧化剂 $\text{MnO}_x$ 是接受微波作用的感受器和诱发电火的驱动器。利用3D打印制备微波敏感高能复合材料,可用于定点诱发引发化学反应,是控制高能材料的能量释放途径的重要手段。

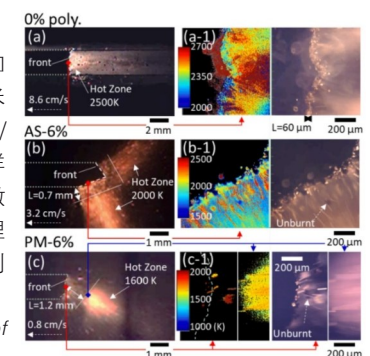
源自: Z. Alibay, D. Olsen, P. Biswas, C. England, F. Xu, P. Ghildiyal, M. Zhou, M. R. Zachariah. Microwave stimulation of energetic Al-based nanoparticle composites for ignition modulation, *ACS Appl Nano Mater*, 2022, 5: 2460-2469.



### 美国加利福尼亚大学与马里兰大学开发了固体含量高达94%的纳米烟火药的3D打印成型,并研究了燃烧火焰传播特性

利用3D打印技术构建材料的组织框架结构为改善和调控含能材料的性能带来新机遇。美国加利福尼亚大学与马里兰大学合作开发了黏结剂含量仅为6%,固含量为94%的Ti/Ca( $\text{IO}_3$ )<sub>2</sub>纳米复合物,可用于3D打印成型。对燃烧反应速率研究发现,物理混合的烟火药复合物(94%Ti/Ca( $\text{IO}_3$ )<sub>2</sub>)和(100%Ti/Ca( $\text{IO}_3$ )<sub>2</sub>)相比,热释放速率下降超过4倍。通过3D打印技术制备的样品(94%Ti/Ca( $\text{IO}_3$ )<sub>2</sub>),其热释放速率比物理混合的样品(94%Ti/Ca( $\text{IO}_3$ )<sub>2</sub>)增加4倍。通过显微成像系统与热分析技术表征了94%Ti/Ca( $\text{IO}_3$ )<sub>2</sub>样品的火焰分布特征,发现3D打印样品和物理混合的样品的火焰高度分别为 $\sim 1.2 \text{ mm}$ 和 $\sim 0.7 \text{ mm}$ ,进一步通过热力学计算,解释了2种烟火剂结构的不同热反馈模式。

源自: H. Y. Wang, P. Biswas, D. J. Kline, M. R. Zachariah. Flame stand-off effects on propagation of 3D printed 94 wt% nanosized pyrolants loading composites[J]. *Chem Eng J*, 2022, 134487.



(中国工程物理研究院化工材料研究所 王军 编译)