
合肥研究院等在聚变堆超导带材设计及其抗氦辐照损伤研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/11248.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

近日，中国科学院合肥物质科学研究院固体物理研究所研究员方前锋课题组与美国麻省理工学院（MIT）核工系教授李巨合作，在聚变堆超导带材的设计及其抗氦辐照损伤研究中取得进展。该研究将实验设计与理论模拟相结合，验证构造多级特征结构以实现高性能材料的有效策略，并利用特殊界面调控氦泡生长的动力学过程，使铜铌复合材料具有优异的机械、超导和抗辐照性能，有望应用于核聚变领域。相关研究成果以Superconducting Cu/Nb nanolaminate by coded accumulative roll bonding and its helium damage characteristics为题，发表在Acta Materialia上。

铌（Nb）基合金是一种应用于制备加速器及未来聚变堆的超导体材料。由于以超导带材为形式制作的磁体线圈需要经历绕制工艺，在服役过程中承受较大的洛伦兹力，且易在晶界/相界（GBs/PBs）中累积核反应产物氦（He）。因此，应用于聚变领域的结构功能材料需具备较高强度、较好塑性及优异的抗辐照损伤性能。研究人员采用改进的累积叠轧焊接技术（coded-ARB），通过“编码”二元组分的尺度分布，制备出具有多级特征结构且满足性能要求的铌基纳米叠层材料。

操纵微观结构的特征尺度是一种用于优化材料性能的设计策略。研究发现，类似“条形码”形貌的双相分层结构可以有效调控箔材在轧制过程中的局部应力分布，将部分剪切力转化为压应力，延缓材料开裂，增加等效应变。其中，高密度纳米级铜层抑制位错运动，防止裂纹在铌基体层间拓展，提高材料的强度和韧性，并增强铌层的抗氧化能力。同时，通过控制加工过程中材料内部应力场的变化，构建不同的界面类型，不断累积的失配位错与界面发生相互作用，利用“位错泵”效应加速铜与铌原子之间的固溶，形成化学混合区域。随着塑性应变的积累以及晶格缺陷密度的增大，界面演变为三维尺度的非晶无序结构。

研究人员通过氦离子辐照实验及分子动力学模拟分析得出，由于氦在界面的扩散系数较高，氦间隙更易在有序的二维（2D）相界面聚集为氦泡，降低材料的力学性能。而化学混合和非晶结构构建的三维界面（3D）因含有较多的自由空间，可提供氦泡形核位点，有效抑制氦团簇长大，使纳米多层复合材料具有更好的抗氦辐照能力。材料的超导性能研究表明，轧制态的多尺度铜铌叠层材料具有与纯铌相似的超导电流负载能力，且化学掺杂的界面结构增强对磁通线的钉扎效应，在较高磁场下更为明显，而退火态的铜铌材料的超导性则因层状结构失稳和界面散射增加而被抑制。

研究工作得到国家自然科学基金、安徽省自然科学基金、美国能源部等的支持。

[论文链接](#)

图1. 铌基纳米叠层材料中的多级特征结构——(a,b) “条形码”状分布的二元叠层结构，(c)化学混合态与(d)非晶态Cu/Nb界面

图2.(a)传统叠轧焊接；(b,c) “编码”轧制过程中多尺度铜铌叠层材料的应力场演化；(d,e)不同类型界面附近的位错分布

图3.(a-f)分子动力学模拟三种不同界面中氦的演化过程；(g)氦浓度和氦团簇尺度分布统计；(h-j)氦离子辐照后不同界面的微观结构及氦泡形貌

图4.(a)不同特征尺度的铌基纳米叠层材料力学性能；(b)不同状态铌基叠层材料超导金兹堡-朗道方程拟合对比

研究团队单位：合肥物质科学研究院

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发