

新型耐高温热沉铜合金的制备、性能及搅拌摩擦焊接研究

常永勤, 李明洋, 胡佩, 崔博然, 刘栋, 王寒露、郑丹丹

北京科技大学, 北京 100083

Email: chang@ustb.edu.cn

摘要:

中国聚变工程实验堆(CFETR)偏滤器需要在 20 MW/m^2 的高热负荷条件下运行。CuCrZr的高温热稳定性无法满足CFETR的使用要求。目前尚无适用于CFETR的热沉铜合金,因此,亟需研发新型铜合金,使它在高温下既具有高强度和高热导率,又保持有优异的抗热蠕变和抗辐照性能,以满足CFETR偏滤器对关键热沉材料的迫切需求。本文设计了高温稳定的新型铜合金,通过添加合理的微量元素,在铜基体中引入了大量弥散分布的高温稳定的第二相颗粒,同时引入了高密度的孪晶,形成与传统高强高导CuCrZr完全不同的微观组织。在新型铜合金中,尺寸较大的析出相是富含Fe和Cr的相,细小的析出相是bcc结构的富Cr相。Cr纳米颗粒与基体之间的取向关系为 $[111]\text{Cr} // [011]\text{Cu}$ 、 $(\bar{1}01)\text{Cr} // (200)\text{Cu}$ 和 $(1\bar{2}1)\text{Cr} // (022)\text{Cu}$ 。高密度的纳米析出相有望提高铜合金的抗蠕变及抗辐照性能。合金晶粒尺寸明显细化,尺寸为 $10\text{-}30 \mu\text{m}$ 的晶粒比例高达71.8%。低能晶界 $\Sigma 3$ 、 $\Sigma 9$ 和 $\Sigma 27$ 晶界的分数分别为59.2%, 5.0%和2.0%,这三者的总分数接近66.2%。该铜合金的抗拉强度、电导率和硬度分别为541 MPa、82.1%IACS和158 Hv。该合金在高温下表现出比传统CuCrZr合金更高的热稳定性。其再结晶温度为 619°C ,比CuCrZr明显推迟了再结晶温度。高温拉伸强度比文献报道值提高了70%,耐腐蚀性能是CuCrZr的2.7倍。本文设计的新铜合金中存在大量弥散强化相,采用传统的熔焊方法很容易使得弥散相消失或粗化。另外,由于铜合金热导率比较高,焊接接头容易出现气孔、强度降低、焊接变形大等问题。本文采用搅拌摩擦焊接(Friction stir welding, FSW)技术焊接新型铜合金,发现搅拌区(SZ)为细小的等轴晶。和母材相比,SZ区的晶粒尺寸明显减小($0.23 \mu\text{m}$),热机影响区(TMAZ)的晶粒尺寸比SZ大,但是比母材小。SZ区和TMAZ区的织构明显降低。在最优FSW焊接参数下,焊接接头的抗拉强度为471 MPa,其焊接系数为97%,远高于目前采用熔焊方法焊接的铜合金[1]。

关键词: 新型铜合金; 高温稳定性; 高温强度; 搅拌摩擦焊接

参考文献

[1] Sanjib J., *et al.*, Effects of welding parameters on mechanical properties in electron beam welded CuCrZr alloy plates. *Materials Science and Engineering*, 2018, 338, 1-6

基金项目: 中国科学院合肥物质科学研究院 (NO. IPP-ZC-18120407) 和国家自然科学基金项目 (NO. 51971021、11775017)