

· 中国学者海外论文摘要 ·

基于 FeCoNiCrMn 高熵合金的晶粒生长和霍尔-佩奇关系研究取得新进展

高熵合金是一种新型的合金设计理念,这种合金一般含有 5 种或 5 种以上的合金元素,且每种元素含量都相同或者相似。高熵效应抑制了金属间化合物的出现,促使元素间相互混合,最终形成体心立方结构(BCC)或面心立方结构(FCC)等较为简单的结构。已有研究集中在相形成、相稳定性和高温、室温性能上,对高温下合金的再结晶行为和相稳定性却鲜有研究。基于此,北京科技大学的吕昭平等选择具有简单 FCC 结构的 FeCoNiCrMn 合金设计了一系列的试验,研究高熵合金的晶粒生长及强度和霍尔-佩奇公式之间的关系。该文发表在《Scripta Materialia》2013 年第 68 卷,被评为 2013 年“中国百篇最具影响国际学术论文”。

作者研究发现合金在冷轧和退火过程中没有发生相变,始终是单相 FCC 结构。冷轧 70% 的样品在 850~950 °C 的温度范围内进行退火,晶粒尺寸随着退火温度的升高和退火时间的延长明显长大。根据晶粒生长的经典理论公式,不同温度下的晶粒生长指数可以利用回归分析得出,对于 FeCoNiCrMn 合金,最佳值是 3。进而算出晶粒开始长大的尺寸 1.0 μm。将 3 和 1.0 μm 代入晶粒生长经典公式,发现所有的曲线都呈线性关系,说明回归分析得出的晶粒生长指数和初始尺寸是可信的。需要注意的是,这些曲线没有必要必须经过原点,尤其在较低的 850 和 900 °C 时。这是冷轧态的原料导致

的,在晶粒生长之前必须经过再结晶,温度越低再结晶需要的时间越长。

根据 Cahn 的晶界缓慢运动理论和 Brook 的晶界溶质偏析理论,单相纯材料的理想晶粒生长指数是 2,而 FeCoNiCrMn 合金的晶粒生长指数是 3。大的晶粒生长指数意味着缓慢的粗化动力学和杂质的移动或溶质拖拽晶界。然而,目前没有研究表明高熵合金具有明显的溶质偏析,事实上高熵合金的界面偏析还从未有过报道,因而需要进一步研究。FeCoNiCrMn 合金晶粒生长的激活能是 321.7 kJ·mol⁻¹,远远大于 AISI 304LN 不锈钢的 150 kJ·mol⁻¹。这种结果表明缓慢扩散在高熵合金中确实存在。此外,随着晶粒的长大 FeCoNiCrMn 合金软化,尽管其硬化系数远远大于传统 FCC 金属,合金的强度变化规律依旧遵循霍尔-佩奇关系。

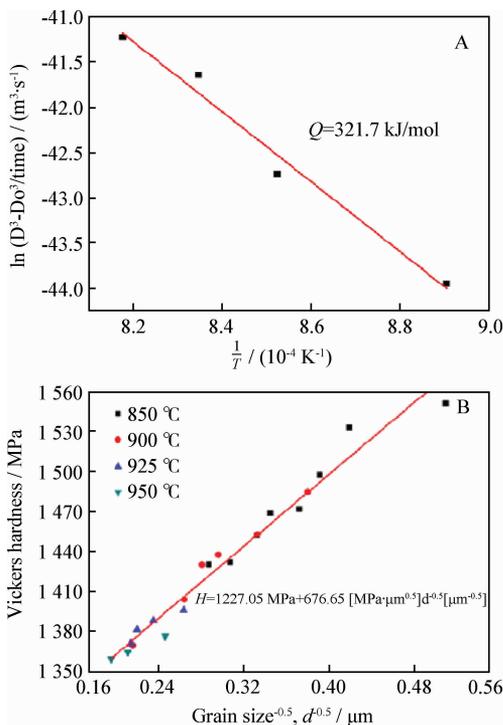


图 2 晶粒生长指数与绝对温度倒数的关系以及硬度与 FeCoNiCrMn 合金的晶粒尺寸关系

(北京科技大学新金属材料国家重点实验室 吴渊 供稿)

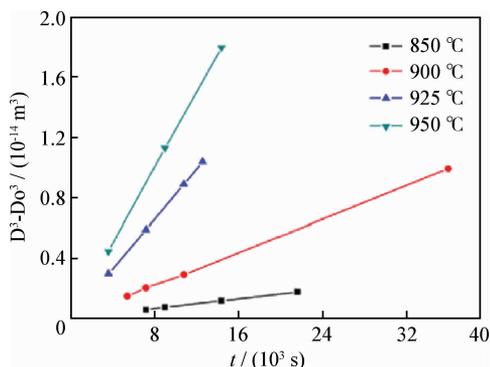


图 1 不同热处理温度下 FeCoNiCrMn 合金的晶粒尺寸与退火时间的关系