

铜富集纳米团簇强化超高强度铁素体钢及其制造方法



制造

纳米技术与新材料

机遇

钢铁行业面临着实现可持续发展的压力，需要在节约能源和资源的同时，满足各技术领域对材料结构和功能的要求。传统的超高强度钢，如通过低温回火马氏体或贝氏体强化的低合金钢、高温回火合金碳化物析出钢、二次硬化超高强度钢或金属间化合物析出强化的马氏体时效钢，在一定程度上满足了超高强度的要求。然而，这些传统钢种具有高碳、高合金的特点，并且相变需要急冷条件，导致其存在焊接性差、塑性和韧性不足、成本高以及材料尺寸受限等问题。尽管已有关于铜纳米团簇析出强化钢的初步研究，但现有的铜析出强化钢中的铜颗粒大多超过50纳米，析出量少，析出物间距大，分布不均匀。因此，铜颗粒的强化效果有限，所得钢的强度低于1000 MPa。这为开发一种通过优化纳米团簇析出来克服这些局限的新型超高强度铁素体钢提供了明确机遇，以实现高强度、优异焊接性、良好韧性和成本效益的结合。

技术

本专利介绍了一种铜富集纳米团簇强化超高强度铁素体钢及其制造方法。其创新在于合理调整合金元素种类、含量和热处理工艺，以优化铜富集纳米团簇的形核和生长活性。该技术获得的微观结构中，高数密度、均匀分布、尺寸细小的铜富集纳米团簇（平均直径3纳米，平均颗粒间距2-20纳米，每立方微米超过10,000个）成为主导强化机制。铁素体基体的平均晶粒尺寸为1-20微米。钢的成分经过精心设计，碳含量低（0-0.2 wt%），并规定了Cu（0.5-5%）、Ni（0.01-4%）、Mn（0.01-4%）、Al（0.001-2%）、Cr（0-12%）、Mo（0-3%）、W（0-3%）、V（0-0.5%）、Ti（0-0.5%）、Nb（0-0.5%）、Si（0-1%）、B（0.0005-0.05%）的特定范围，且控制了杂质含量。制造工艺包括熔炼、铸造、锻造/轧制，随后在800-1300°C进行固溶处理和400-600°C进行时效处理。这种受控的热机械加工促进了细小铜富集纳米团簇的析出，并可形成复合纳米碳化物（如(V,Ti,Nb)C，尺寸5-100纳米）以进一步细化晶粒。该技术整合了多种强化机制：纳米团簇的析出强化占主导地位，并与晶粒细化强化、固溶强化和位错强化协同结合，从而创造出一种复合强化材料。

优势

- 实现超高强度（屈服强度900-1200 MPa，抗拉强度1200-1500 MPa）与良好延性/韧性（延伸率10-20%，断面收缩率50-80%）的优异结合。
- 由于低碳含量和铁素体基体结构，具有优异的焊接性。
- 通过添加Cu、Cr和Al（可形成保护性氧化膜）提供良好的耐腐蚀性。
- 与传统超高强度钢（如马氏体时效钢）相比成本更低，这得益于合金元素的优化和最小化使用，且无需快速淬火工艺。
- 适合大规模连续铸造和轧制生产，降低了制造成本。

备注

IDF: 295

IP状态

已申请专利



技术成熟度等级 (TRL) ?

3

发明人

刘锦川教授

Mr. JIAO Zengbao

查询: kto@cityu.edu.hk

Develop
Concept

Proof
Concept

Follow-on

Build Value

- 铁素体基体结构和加工工艺避免了快速淬火的需要，简化了热处理并降低了变形风险。

应用

- 汽车工业用于轻量化高强度部件。
- 造船和海洋结构，需要强度和耐腐蚀性。
- 桥梁、管道和建筑结构。
- 压力容器和工业机械。
- 能源生产设施和发电厂。
- 集装箱和国防设备。

