

纳米金属间化合物强化超高强度铁素体钢及其制造方法



制造

辅助设备/教学方法和材料

机遇

国防、航空航天、发电厂及其他高科技领域的快速发展，对超高强度钢产生了重大需求，特别是抗拉强度在1400至2000 MPa范围内的钢材，用于火箭发动机壳体、飞机起落架和防弹装甲板等应用。然而，传统的超高强度钢，包括低温回火马氏体/贝氏体钢、二次硬化钢和马氏体时效钢，通常存在显著局限性。这些问题主要包括焊接性差、延展性和韧性低、成本高以及材料制造尺寸受限，这主要源于其高碳高合金含量以及热处理相变所需的高冷却速率。虽然纳米技术引入了纳米析出强化这一有前景的方法，但已建立的体系通常依赖于纳米碳化物（MC型）析出物。尽管对强度有效，但较高的碳含量仍会损害焊接性和断裂韧性。因此，存在一个关键的工业机遇，即开发一类新型超高强度钢，通过提供超高强度、良好延展性、优异焊接性和增强的可制造性以及更低成本的卓越组合，来克服这些权衡问题。

技术

本专利提出了一种创新的纳米金属间化合物强化超高强度铁素体钢及其制造方法。核心技术创新在于使用铁素体基体代替传统的马氏体，并采用一种新颖的、协同的多相纳米析出强化体系。该钢的特定化学成分经过精心设计，碳含量低（0-0.2% C），以确保优异的焊接性和韧性。关键添加元素包括作为金属间化合物形成元素的Ni和Al，作为纳米团簇形成元素的Cu，以及作为纳米碳化物形成元素的Mo/W。通过涉及熔炼、铸造、热/冷轧，随后进行特定固溶处理（800-1300°C）和时效处理（400-600°C）的受控制造工艺，在铁素体基体中沉淀出高密度、均匀分布的细小纳米金属间化合物（主要是NiAl，平均尺寸为3nm）。这作为主要强化相。此外，特定数量的富Cu纳米团簇和少量纳米碳化物（例如， $(Mo,W)_2C$ ）共同析出。这三种类型的纳米析出物协同作用，通过沉淀硬化和晶粒细化产生复合强化效果。铁素体基体本身平均晶粒尺寸为1-20 μm ，有助于保持良好的韧性，并克服了马氏体钢所需的快速淬火带来的尺寸限制，使得该材料适用于连铸连轧工艺。

优势

- 实现超高强度（屈服强度：1200-1800 MPa，抗拉强度：1400-2000 MPa）与良好延展性/韧性（断面收缩率：30-60%，延伸率：5-20%）的卓越结合。
- 由于其特意设计的低碳含量，表现出优异的焊接性。
- 通过添加Cr、Al和Cu等元素，提供增强的耐腐蚀性和抗氧化性。
- 提供更大的制造灵活性和更低的成本；基于铁素体的体系不需要快速淬火（例如，水淬），允许更大的产品尺寸，并且适用于连铸连轧。
- 采用协同的多相纳米析出强化机制（金属间化合物+团簇+碳化物）以实现性能优化。

备注

IDF: 305

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

Funding

Build Value

- 具有细小、均匀的铁素体晶粒结构（1-20 μm），有助于提高强度和韧性。

应用

- 航空航天和国防关键部件：火箭发动机壳体、飞机起落架、车辆防弹装甲。
- 汽车工业：需要高强度重量比的结构部件。
- 能源与发电：发电厂部件、压力容器、管道。
- 海洋与近海工程：暴露在恶劣环境中的结构件。
- 建筑与土木工程：桥梁、建筑结构、工程机械。
- 通用工业应用：需要高强度和耐用性的容器、机械零件。

