

我国新钢种及其焊接性的发展

天津大学 李午申教授、博士生导师

随着焊接技术的进步，焊接结构日益向高参数、大型化方向发展，这就对焊接结构用钢的性能提出了越来越高的要求，不仅要有良好的综合力学性能，而且要有良好的加工工艺性能（如焊接性）。对于特殊条件下应用的钢材，还要求具有相应的特殊性能，如耐腐蚀、耐高温、耐低温等。因此原来的碳素结构钢已远不能满足要求，这就进一步促使合金结构钢获得了迅速发展及广泛应用。焊接性的好坏是评价钢材使用性能的主要指标之一。焊接性、焊接材料及相应的焊接工艺是焊接合金结构钢的三个基本要素，三者密不可分。因此，如不及时有效地解决每一种合金结构钢的焊接性及配套焊接材料和焊接工艺问题，将会直接阻碍该类钢种的推广应用。

为了不断改善合金结构钢的焊接性，国外从60年代末国内从80年代就开始研制并生产焊接性良好的微合金控轧钢，并开始研究下一代超细晶粒钢。新钢种的出现给钢的焊接性带来了重大的变革。

1 微合金控轧钢

过去生产的合金结构钢，着重于钢材本身的性能，偏重于氧化提纯、加工成形和相变热处理。而对其焊接性考虑较少，这给焊接技术及焊接生产带来了诸多不便。最近几十年来，国外特别注重从冶金入手从根本上解决钢的焊接性问题。近二十年来我国的冶金工作者也已经对此引起重视，并通过冶金措施采用低碳微合金化及控轧控冷等工艺措施生产出了若干种强韧性好、焊接性优良的管线钢、桥梁钢、压力容器用钢等，这为焊接用合金结构钢的发展做出了新的贡献。新钢种的生产具有如下特点：

1.1 洁净化技术

钢的洁净化会显著提高钢的冲击韧度、焊接接头的抗裂性和抗HIC的能力，其焊接性会得到明显提高，相应的要求焊缝也必须洁净化。

1.2 细晶化技术

通过细晶强化可进一步降低低合金高强钢的碳含量，减少固溶的合金元素，从而使冲击韧度会得到进一步提高。武钢采用上述技术生产的管线钢、桥梁用钢的冲击韧度都已达到较高的水平，其钢种的实测夏比冲击功 -40°C 下均在100J以上。

1.3 微合金控轧钢对焊接材料的要求

1.3.1 焊缝金属的洁净化

(1) 焊接原辅材料的洁净化。

(2) 焊接冶金反应中的洁净化。

1.3.2 焊接材料的微合金化

微合金控轧钢的强韧化需要焊缝的高强韧性匹配，这就需要焊缝金属不仅要实现洁净化，而且也要实现细晶化。但焊缝的细晶化不象钢板那样可以通过控轧控冷工艺实现，它只有通过合金化完成细化晶粒的目的。研究表明，焊缝中出现大量针状铁素体可以显著提高焊缝金属的强韧性，这是由于铁素体针非常细小，平均尺寸约为 $1\mu\text{m}$ ，且铁素体针取向自由，呈大角度晶界，从而具有较强的抗裂纹扩展能力，因此，使焊缝出现足够量的针状铁素体是提高焊缝金属强韧性的关键。焊缝中加入多种微量元素一方面可抑制高温奥氏体的晶粒长大，二是可促使针状铁素体的形成，焊缝中夹杂物质点作为针状铁素体的形核核心对提高针状铁素体的形核率起着重要的作用。

在焊缝的诸多合金元素中，Ti、B、Re、Al具有更为重要的作用。另外通过优化工艺参数，控制冷却速度也可促使针状铁素体的形成。

应当指出，锰是微合金化钢中的主加元素，一般加入量为1.1%~2.0%。锰的加入，不仅可以提高固溶强化作用，而且还能降低 $\gamma\rightarrow\alpha$ 的转变温度，从而达到细化铁素体晶粒的作用。适当地调节锰含量可使奥氏体转变为针状铁素体，使强韧性得到进一步提高。

2 微合金控轧钢的焊接性介绍

微合金控轧钢由于含碳量低、洁净度高、晶粒细化，因此具有较高的强韧性和良好的焊接性。由于不同的应用领域对钢材的使用性能要求不同，因此，合金化不同，焊接性也各有差异。宝钢和武钢生产的微合金控轧钢主要有管线钢、压力容器用钢、桥梁钢等，并在工程上得到了成功的应用。其中管线钢是最早进行微合金化并应用最为成功的范例，近几十年来已在美国、日本和西德等国家得到了广泛地应用。近年来我国也已生产出了自己的管线钢，并已逐步替代进口并在我国管线工程中得到应用。

3 新一代钢铁材料及其焊接性

我国于1998年在国家重大基础研究发展规划中启动了“新一代钢铁材料重大基础研究”的“973项目”。该研究的最终目标是将占我国钢产量60%以上的碳素钢、低合金钢和合金结构钢等“三类”钢的强度和寿命提高一倍。如果采用新一代钢种取代三类钢中50%的传统钢材，则每年可少用1500吨钢，其直接经济效益达450亿元，间接经济效益则更为显著，如可减少钢厂建设、矿山的基建投资，减少资源损失和对生态环境的污染等。

同时，日本在1997年启动了STX-21“超级钢铁材料”科学研究项目，投资1000亿日元。目标是10年内开发出强

度相当于现有钢铁材料两倍的超级钢，用于道路、桥梁、高层建筑等基础设施建材的更新换代。主要研究开发80 MPa级易焊接的铁素体-珠光体钢、耐延迟破坏和疲劳破坏的1500 MPa级超高强度钢、超临界压力发电设备用铁素体耐热钢和海滨地区用钢等。

韩国也于1977年开始了一个历时十年的21世纪结构钢项目，主要研究开发800 MPa级结构钢、600 MPa级耐候钢和1500 MPa级的螺栓钢。

3.1 新一代钢铁材料的特点

新一代钢铁材料的特点是超细晶粒、超洁净度、高均匀性、性价比更加合理的新一代钢种。其强度和寿命比原同类钢种提高一倍。

3.2 新一代钢铁材料的焊接性

由于新一代钢铁材料晶粒极度细化，焊接时面临的严重问题是焊缝的强韧化、热影响区的晶粒长大等问题。在我国新一代钢铁材料项目中，主要是针对400 MPa级和800 MPa级超细晶粒钢解决上述焊接性问题。并应从焊接材料、焊接方法和焊接工艺等多方面进行综合解决。

(1) 焊缝金属的强韧化。

(2) 热影响区的晶粒长大倾向。

4 结论

随着我国冶金技术的提高，新钢种的性能不断提高，这就需要研发高质量的焊接材料与之匹配，实现焊缝的强韧化。由于新钢种焊接性不断改善，焊接裂纹倾向减小，焊接工艺得到简化。对于这类钢种的焊接技术，主要应向高效和自动化方向发展。而对于新一代超细晶粒钢的重大发展，在不提高合金元素的条件下，强度、寿命均提高一倍，这不仅是钢铁材料的重大变革，而且也对焊接技术和焊接材料的发展提出了新的机遇和挑战。

(摘自《第十次全国焊接会议论文集》)