

大线能量焊接用结构钢的研究进展结构工程师考试 PDF转换  
可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/524/2021\\_2022\\_\\_E5\\_A4\\_A7\\_E7\\_BA\\_BF\\_E8\\_83\\_BD\\_E9\\_c58\\_524803.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/524/2021_2022__E5_A4_A7_E7_BA_BF_E8_83_BD_E9_c58_524803.htm)

钢板被广泛用于诸如建筑、桥梁、压力容器、储罐、管线和船舶等基础建设和大型建筑中。建筑构件的大型化和高层化发展趋势要求钢板的厚度增加，同时具有更高的综合性能，包括更高的力学性能、高效的加工性能以及优良的抗腐蚀性能和抗疲劳破坏性能等。但是，随着钢板强度的提高，其冲击韧度和焊接性能显著下降，焊接裂纹敏感性增加。特别是随着焊接线能量的提高，传统低合金高强钢的焊接热影响区性能(强度、韧性)恶化，易产生焊接冷裂纹问题，给大型钢结构的制造带来困难。由于焊接为厚板加工的主要方式，满足大线能量焊接性能也逐步成为各种钢种所具备的一种性能。所以，在追求高强度的同时，改善钢板的韧性以提高钢板的焊接性能越来越迫切。本文综述了大线能量焊接用结构钢的研究进展。提高钢大线能量焊接性能的主要技术手段 钢大线能量焊接的主要难点在于其热影响区(HAZ)的强度和韧性随着输入线能量的增大而降低。因此，HAZ的韧性成为制约钢大线能量焊接的关键因素。为了解决HAZ的韧性问题，国内外相继开展了大线能量焊接用钢的研究工作，提出的改善韧性的方法主要有降低C含量和 $C_{eq}$ 、利用微合金元素和氧化物夹杂细化奥氏体晶粒、获得韧性好的组织如针状铁素体以及贝氏体组织的超低碳钢、通过改进生产工艺提高韧性等。

- 1 奥氏体晶粒的细化 晶粒细化是同时提高钢的强度和韧性的唯一途径。通过降低奥氏体的晶粒尺寸来增加形核点密度以细化铁素体晶粒的

方法已经被广泛研究。原奥氏体晶粒越细小，HAZ的晶粒也就越小，韧性也就会越好。在钢中引入微量的合金元素，形成弥散分布的高熔点颗粒。这些颗粒一方面以“钉轧”的形式阻碍奥氏体晶界的迁移，限制奥氏体晶粒的长大，同时增加了相变过程中的形核点，从而使钢的组织更加细小。目前研究较多的是Ti元素对高温奥氏体的细化作用。研究发现，Ti在钢中形成细小弥散的TiN粒子，在焊接热循环过程中有效阻止奥氏体晶粒的长大，促进针状铁素体析出，从而改善HAZ的韧性。研究人员发现，Nb可以加强Ti的细化作用。Nb在钢中与N也有着强烈的亲和力，可以取代部分Ti，与N形成(Ti, Nb)N颗粒，其溶解温度在1350℃以上，可以钉轧、拖拽高温奥氏体晶界的迁移。进一步的研究发现，Ti-Nb微合金钢中含有大量尺寸细小的 $Ti_xNb_{1-x}(C_yN_{1-x})$ 粒子，粒子中Nb的相对含量在0.25 ~ 0.82之间，形状接近球形。这些粒子具有很高的稳定性，在焊接过程中这些粒子不仅能有效地阻止奥氏体晶粒长大、抑制粗大贝氏体的形成、还能够促进针状铁素体的析出和M-A组元的分解，从而显著改善低合金高强度钢HAZ粗晶区的韧性。

2 HAZ组织的改善除了细化晶粒，改善HAZ组织也是提高钢板韧性的一个途径。当成分确定时，钢的韧性由组织和晶粒尺寸决定。研究结果表明，当大线能量焊接后的HAZ含有一定数量的针状铁素体(AF)时，将具有较高的强度和良好的韧性，所以很多研究都致力于在HAZ获得AF组织，并对AF的形核机理和合金元素对组织的影响做了探讨分析。

3 添加合金元素控制钢的显微组织 通过添加微量合金元素，可改善钢板的韧性，提高焊接性能。合金元素在钢中形成细小的化合物颗粒，不仅细化晶粒，还充当AF的

形核质点，形成更多的AF组织，或是降低有害夹杂的含量，从而提高材料的韧性。Ti、Nb、V的研究较多，此外Ni、Mn、Al、Si、Mo、B、Cu和RE等元素也有类似的效果。研究表明，钢中加Ti有利于韧性的提高。TiN粒子能够促进针状铁素体析出。由于TiN粒子与铁素体的错配度较小，双方保持共格关系，从而有利于铁素体晶核的长大。也有分析认为这与膨胀系数有关。因为TiN与奥氏体的膨胀系数不同，在TiN粒子周围产生较大的晶格畸变，畸变区有大量的位错，为铁素体的形核提供了位置；同时，畸变促进了C原子的扩散，还为铁素体形核提供了激活能。Nb可以在不损失韧性的情况下提高强度。试验表明，加入0.02%的Nb即可使强度提高而韧性不降低。有研究认为，Ti、Nb复合微合金化中，加入的Nb部分固溶于奥氏体基体抑制奥氏体晶粒的长大；同时，化合态的Nb可以减少凝固期间形成的粗大富Ti的碳氮化物，增加钉轧粒子的体积分数；也可能是形成(Ti, Nb)N降低了粒子的熔点，从而使得第二相粒子在比固相线更低的温度析出，但具有更高的粗化温度，从而具有更细小的尺寸。Mn是防止热裂纹的有益元素。有研究发现，Mn的存在改善了硫化物的分布形态，使薄膜状的低熔点化合物FeS改变为球状，并置换FeS形成MnS，从而减少了低熔点硫化物的数量；而Ti在焊接过程中也形成高熔点的硫化物，提高了焊缝的抗裂性。适量的Al能改善HAZ的低温韧性，还有研究者发现，钢中同时加入Ti更有效。随着Al的加入，钢中M-A岛数量减少，其平均长度减少，并且M-A中残余奥氏体数量增加，从而提高HAZ的韧性。加入Ti后，HAZ中有相当多的TiN质点，并有MnS依附于TiN质点析出现象。Mo能够有效降低Bs温度。ULCB

钢中Mo和B共同作用能够使铁素体析出线明显右移，使得在较宽的冷却速度范围内获得完全的贝氏体组织。这样，在较大的线能量范围内，HAZ的组织没有变化，从而保持了良好的韧性。当Mo增加时，钢的强度明显提高。另外，Mo和Mn还能增大Nb(CN)在奥氏体中的溶解度，从而降低TMCP工艺的再加热温度、轧制温度及再结晶终止温度。Ni是能够增加基体金属韧性并改善强化而不恶化HAZ韧性的元素，随着Ni的加入，强度和韧性都有改善。尤其在 -Cu时效强化ULCB钢中，加入0.5 ~ 2倍的Ni可以防止铜的热脆性，通常1.5%是其上限。B能减少焊缝中自由状态的N，提高HAZ粗晶区的韧性。TiN粒子在温度超过1450 时易熔解，产生的自由N原子对HAZ韧性不利。B与N结合形成BN，从而改善韧性。Re<sub>2</sub>O<sub>3</sub>对熔敷金属中的夹杂物有球化、细化作用，提高HAZ的韧性。在焊剂中加入适量的Re<sub>2</sub>O<sub>3</sub>后，夹杂物数量减少。而且，REM在钢中形成稳定细小的O、S化物，一方面取代TiN颗粒抑制奥氏体晶粒的粗化，还充当铁素体的形核核心阻止上贝氏体的形成。在焊口中加入Cr粉能增加AF的数量，但削弱冲击韧度。不同的合金成分下，随着Cr量的增加AF有不同程度的增加，但进一步增加Cr量，AF将被FS(ferritewithsecondphase)取代。国外有研究者认为Cr量的增加将减少(通常抑制)PF(primaryferrite)的形核，因为在AF晶内形核前贝氏体已经可以在晶界自由形核。

100Test 下载频道  
开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)