

船用高韧性埋弧焊焊丝

李红卫^{1,2}, 何长红², 彭云², 田志凌², 刘荣佩¹, 陈延清³

(1. 昆明理工大学 材料与冶金工程学院 昆明 650093 2 钢铁研究总院结构材料所, 北京 100084 3 首钢技术研究院, 北京 100041)

摘 要: 介绍了 Mn-Ni-Cr-Mo-Ti-B-Ce 和 Mn-Mo-Ti-B-Ce-Zr 系高韧性埋弧焊焊丝成分设计原则。对所研制的焊丝匹配烧结焊剂进行了熔敷金属的埋弧焊试验, 测定了熔敷金属成分、冲击韧度、组织和强度。用扫描电镜分析了断口形貌和夹杂物组成。结果表明, 所研制的焊丝在与两种不同的焊剂匹配时都能获得良好的熔敷金属力学性能, 尤其是和较高碱度焊剂匹配时 $R_m > 500 \text{ MPa}$ $R_{eL} > 600 \text{ MPa}$ $A_{kv}(-20^\circ\text{C}) > 150 \text{ J}$ 熔敷金属组织主要是针状铁素体, 少量的先共析铁素体。

关键词: 埋弧焊; 熔敷金属; 强度; 韧性

中图分类号: TG457·11 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)12-96-05



李红卫

0 序 言

近 40 年来微合金钢得到了长足的发展, 已广泛应用于石油、天然气管线钢、工程机械、船舶和桥梁。随着结构件的大型化发展, 对钢材的韧性提出了更高的要求。由于冶炼和轧制技术的发展, 母材基本能满足性能要求, 往往焊缝金属的低温韧性成为结构件使用的瓶颈, 尤其是船用钢。所以对船用钢来说, 在保证强度的前提下, 提高焊缝金属的低温韧性是新研制焊丝的重点。过去关于管线钢的高低温韧性的埋弧焊焊丝研究较多, 而对船用钢的焊丝研究较少。目前市场上存在的船用钢高低温韧性埋弧焊焊丝有两种情况: 一种是低强度级别焊丝, 屈服强度通常低于 400 MPa 一种是高强度级别焊丝, 低温韧性良好, 但是含有高的锰、镍、钼元素, 成本高, 不适合中国的国情。从长远的发展来看, 开发一种屈服强度大于 400 MPa 级, 易焊接、低成本、高低温韧性好的船用钢埋弧焊焊丝是必要的^[1,2]。

1 焊丝的成分设计

焊丝成分设计的指导思想是低碳、微合金化和少量稀土元素^[3]。钛和硼作为微合金元素同时加入, 钛能增加针状铁素体, 减少先共析铁素体, 但含硼量低时效果不明显。硼能偏析在晶界与 N 形成化合物, 起固氮作用, 提高焊缝韧性, 但需在添加 Ti

的前提下, 保证 B 不被氧化。Ti 可与 N 形成 TN 颗粒, 有效阻止晶粒长大。稀土元素铈的加入是为了细化 and 球化夹杂物, 减少尺寸波动。微量的钆可固定焊缝金属中的 N, 减轻 N 的有害作用, 提高焊缝金属的韧性。加入 Ni 是为了提高低温韧性, 加入少量的 Cr 是为了提高耐腐蚀性。降低 C、S、P 含量改善焊接性、韧性和抗蚀性。熔敷金属的技术指标 $R_m \geq 440 \text{ MPa}$ $R_{eL} \geq 550 \text{ MPa}$ 根据上面的设计思想, 作者设计了二系焊丝, 一系是含 Ni 和 Cr, 另一系是不含 Ni 和 Cr 的, 主要是为了比较二系的区别。其中在 Ni 和 Cr 系中又设计了不同的含量, 焊丝 1 为中 Ni 高 Cr 系; 焊丝 2 为高 Ni 低 Cr 系; 焊丝 3 低 Ni 中 Cr 系, 旨在了解不同的 Ni 和 Cr 含量的影响。焊丝 4 为无 Ni 无 Cr 系, 因为未加 Ni 和 Cr 所以适当提高了 Mn 和 Mo 来补偿强度, 并加入了少量的 Zr

2 焊丝熔敷金属试验

2.1 试验设备

埋弧焊焊接的设备采用美国生产的林肯 DC-1000 直流自动埋弧焊机; 熔敷金属的化学成分采用光谱分析仪; 冲击试验在 JBZ-300 自动冲击试验机上按国家标准 GB/T 2650-1989 进行, 冲击能量为 $300/150 \text{ J}$ 拉伸试验在 AG-100KNE (50 kN) 及 UH-F50A (250 kN) 拉伸试验机上, 按照国家标准 GB/T 2652-1989 进行。

2.2 试验材料

埋弧焊丝采用自行研制的 4 种不同成分的焊

丝,焊剂采用 SJ101 和 CHF101,下文分别简称为 1 号和 2 号焊剂。其化学成分见表 1。焊接试板采用 Q235。

2 3 试验方法

试板焊接参照国家标准 GB12470 – 1990低合金钢埋弧焊用焊剂标准进行。先用四种焊丝匹配 1 号低碱度焊剂试验,再选用其中性能最好的 2 号和

4号焊丝匹配 2号较高碱度焊剂试验。焊接工艺参数为:层间温度 135 ~140℃,电流 560 ~580A,电压 30 V,焊速 409 mm /min,热输入 24.6 kJ /cm。

2 4 试验结果

熔敷金属的化学成分和力学性能见表 2。3 编号 11、21、31、41 分别代表四种焊丝匹配 1 号焊剂;22 和 42 分别代表 2 号和 4 号焊丝匹配 2 号焊剂。

表 1 焊剂化学成分(质量分数,%)
Table 1 Chemical compositions of flux

焊剂号	CaO+MgO	Al ₂ O ₃ +MnO	SiO ₂ +TiO ₂	CaF ₂	S	P	含水量	碱度
1	30.5	25.3	23.3	20.4	0.020	0.023	0.01	1.8
2	33.2	22.4	14.3	26.5	0.007	0.014	0.01	3.3

表 2 熔敷金属的化学成分
Table 2 Chemical compositions of deposited metals

编号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	B	Ce	Zr	Al	Ceq
11	0.056	0.45	0.87	0.016	0.008	0.37	0.39	0.22	0.005	0.002	0.002	—	0.010	0.36
21	0.066	0.47	1.22	0.016	0.007	0.15	0.44	0.20	0.005	0.002	0.002	—	0.011	0.38
31	0.056	0.51	1.27	0.017	0.007	0.26	0.29	0.24	0.006	0.002	0.002	—	0.011	0.41
41	0.061	0.53	1.33	0.018	0.008	0.05	0.06	0.34	0.008	0.002	0.002	0.001	0.028	0.40
22	0.062	0.36	1.33	0.012	0.005	0.14	0.43	0.20	0.007	0.002	0.002	—	0.016	0.39
42	0.074	0.38	1.40	0.011	0.006	0.06	0.04	0.32	0.008	0.002	0.002	0.001	0.028	0.42

表 3 熔敷金属的力学性能和冲击韧度
Table 3 Mechanical properties and low temperature toughness of deposited metals

编号	抗拉强度 <i>R_m</i> /MPa	下屈服强度 <i>R_{el}</i> /MPa	断后伸长率 <i>A</i> (%)	断面收缩率 <i>Z</i> (%)	冲击吸收功 <i>A_{kv}</i> /J (–20℃)	冲击吸收功 <i>A_{kv}</i> /J (–40℃)	冲击吸收功 <i>A_{kv}</i> /J (–60℃)
11	595	515	26.0	68.0	85.3	63.3	30
21	645	565	25.5	71.0	120.7	86	53.3
31	635	545	26.0	64.5	84.3	58.3	29.3
41	615	535	26.0	70.0	96	54.3	33.3
22	620	535	25.5	74.0	151.7	120.7	69.7
42	610	530	26.5	71.0	154	109	70

3 试验结果分析

3 1 熔敷金属的组织分析

四种焊丝和两种焊剂匹配得到的组织都是针状铁素体(AF),先共析铁素体和极少量的侧板条铁素体。其典型组织见图 1。图 1a b 是最后焊道柱状晶组织。柱状晶界是先共析铁素体,先共析铁素体的宽度在 10 μm 以下。且有些地方是不连续的,晶内是针状铁素体组织,针状铁素体的宽度在 1 ~2 μm 之间,柱状晶的宽度在 150 μm 以下。图 1c d

是后续焊道对前一焊道的热影响区,称为层间区。由于后续焊道的热影响,柱状晶组织被打碎,先共析铁素体沿奥氏体晶界析出,晶内是针状铁素体和少量的块状铁素体,晶粒的大小是不一样的。细小的晶粒是在柱状晶的晶界形成的,大晶粒是在晶内形成的。上述这种组织具有好的低温韧性。观察又发现所有的试验 AF 的比例都大于 80%,但不同的焊丝和不同的焊剂匹配时,得到的组织有区别。其中 22 和 42 的 AF 比例达到了 90%以上,先共析铁素体也较少,这也说明了为什么 22 和 42 获得的冲击韧

度是最好的。

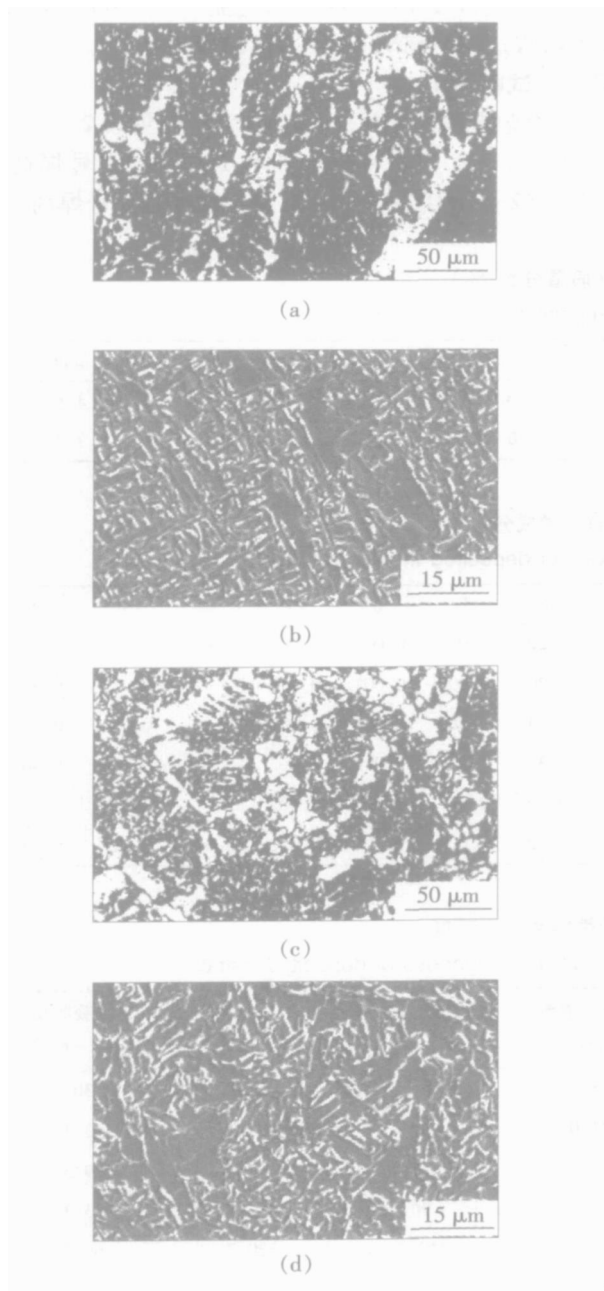


图 1 熔敷金属的针状铁素体和先共析铁素体
Fig 1 Acicular ferrite and proeutectoid ferrite
of deposited metal

3 2 熔敷金属的化学成分

表 2 是熔敷金属的化学成分。在文中试验条件下,含 C 量较焊丝略有降低,原因是和 O 反应生成了 CO。但总体仍在 0.005%~0.008% 之间。Mn 变化不大,和较高碱度焊剂匹配时,Mn 会升高,提高了过渡系数。尽管焊丝中的 Si 不高,但熔敷金属中 Si 最低达到了 0.36%,最高达到了 0.53%,分析认为是焊剂中的一部分 SiO₂ 被还原进入了熔敷金属,所以焊丝中 Si 尽量控制低一些。焊丝中的 S、P 都

小于 80×10⁻⁶,而焊缝中 S 基本不变,P 升高,高 P 焊剂尤为明显,是因为焊剂中的 CaO 在高温下具有脱 S 的能力,S 的过渡系数低,而 P 不易去除,过渡系数高,所以焊剂中要严格控制 P 的含量。N 和 Cr 出现了不同程度的降低,这是稀释和氧化的双重作用造成的。Mo 一般不烧损,它的降低是稀释的结果。Ti、B、Ce 和 Zr 都是易氧化和氮化元素,回收率低。从试验的结果来看,焊剂通过影响化学成分,从而影响韧性。较高碱度的焊剂的熔敷金属锰高硅低,S、P 含量也相对较低,因此韧性更高。

3 3 合金元素对熔敷金属组织和性能的影响

C 是对强度贡献最大的元素,为了保证强度要求有一定的碳含量,但是对于焊接来说,过高的碳含量会增大冷裂倾向^[4]。所以对于韧性要求高的钢种要求焊丝的 C 含量低于 0.10%。试验结果表明在一定的碳含量范围内,碳能促进针状铁素体的比例。Mn 也是保证强度的重要元素之一。由于降低了焊丝的碳含量,为了保证强度,一定量的锰含量是必要的。从试验的结果发现,韧性最好的 22 和 42 的锰含量是最高的,分析认为一定量的锰含量能减少先共析铁素体和侧板条铁素体的析出,促进针状铁素体的生成。锰含量控制在 1.4% 左右是最佳的。

为了考察 Ni、Cr、Mo 对熔敷金属的影响,所以在设计焊丝成分时,有意把 Ni、Cr、Mo 控制在不同的水平。从试验的结果可知四种焊丝都取得了良好的韧性(A_{KV}-40℃: TIF; % 100% 9550 J)。其中 22 和 42 效果最好,可见高 Ni 低 Cr 系,能获得良好的韧性,分析认为 Ni 减少了先共析铁素体,增加了针状铁素体。所以提高了韧性,一般说来焊态的 Cr 对韧性是有害的,应尽量控制低一些。4 号丝为无 Ni 无 Cr 系,但提高了 Mn 和 Mo 的含量。同时加入了 Zr 同样获得了优良的韧性。有关研究表明 Zr、B 能有效抑制晶粒的长大,Mo 也能促进针状铁素体的析出,从而提高韧性。

3 4 质量分数对强度、塑性和韧性的影响

合金元素对熔敷金属强度的影响是十分复杂的,不仅要考虑各个元素对强度的影响,还要考虑各个元素之间的交互作用。在以前的 C-Mn-Si 钢中,此种交互作用相对来说较为简单,只要考虑 C 和 Mn、Si 的相互作用。随着钢铁材料的进一步发展,微合金化技术广泛应用于高强度低合金钢中。由于各种元素的交互作用,使得对强度影响尤为复杂,具体的机理正在研究中。可以用质量分数来描述合金元素总量,建立它与强度之间的关系。图 2 是所研制的四种焊丝熔敷金属的质量分数与熔敷金

属的抗拉强度和屈服强度的关系。从图 2 中可以看出,抗拉强度和屈服强度两条拟合直线的斜率基本是一致的,而且都是随着质量分数的增加而升高。

焊丝质量分数与熔敷金属塑性的关系见图 3。从图中可以看出随着质量分数的增加,熔敷金属的断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 有轻微的减少,但不明显。这表明所设计的焊丝熔敷金属随着质量分数的增加,强度增加但塑性基本上不降低。

图 4 是质量分数和低温韧性的关系,可以看出在相同的温度条件下,随着质量分数的不同韧性出现了很大的差别。当采用 1 号焊剂时,质量分数先是升高,大于 0.38% 时,又是降低的。当采用 2 号焊剂时,熔敷金属的质量分数升高,对韧性影响不大,都表现出了良好的韧性。分析认为影响韧性的因素是多方面的,在其它条件相同的情况下,质量分数高则韧性会降低。不同的焊剂下韧性不一样,主要是不同焊剂影响了化学成分、夹杂物含量和分布、以及气体元素的含量。

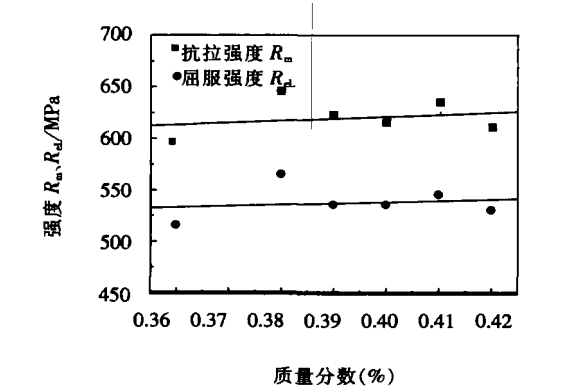


图 2 质量分数与强度的关系

Fig 2 Relation between mass fraction and strength

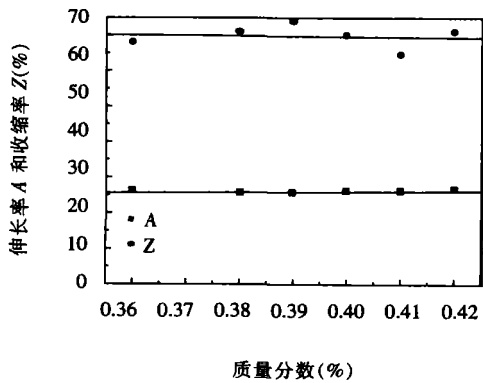


图 3 质量分数与 A、Z 的关系

Fig 3 Relation between mass fraction and A、Z

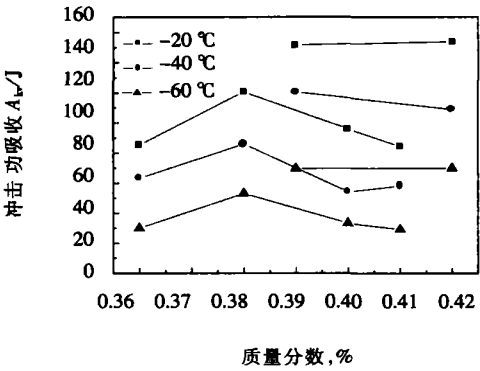


图 4 质量分数与冲击吸收功的关系

Fig. 4 Relation between mass fraction and impact toughness

3.5 熔敷金属断口分析

图 5 是 21 号试样在 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的断口扫描图。图 5a 是典型的准解理断口形貌特征,如河流花样、扇形花样、解理台阶和撕裂棱等;在局部地方能看到存在一些延性脊,这些延性脊是由韧窝组成的,在冲断过程中能延缓裂纹的扩展,提高韧性。图 5b 为典型的韧窝特征,韧窝的底部发现了颗粒状质点,这些质点是在焊接过程中形成的各种氧化物、硫化物和碳氮化物,尺寸都较小,一般都是纳米级的。这些颗粒说明了延性韧窝的产生机理为微孔聚集型机理。能谱分析表明这些质点是 Mn、Ti、Al 和 Si 的氧化物和硫化物,尺寸为 250 nm 左右。观察还发现,在试样 11、21、31 和 41 中,21 的断口韧窝比例是最高

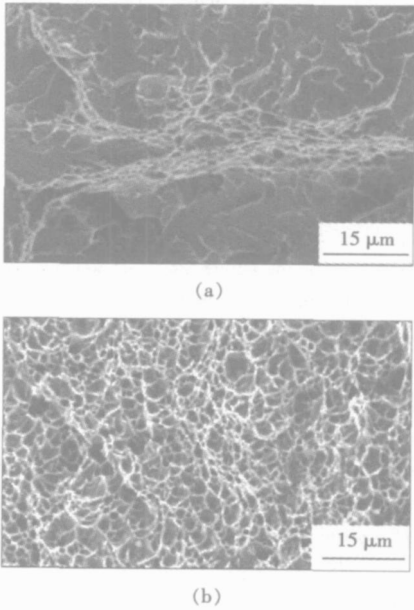


图 5 冲击断口扫描图

Fig 5 SEM micrograph of impact fracture

的。-20℃时达到 80%，其余约 60%，-40℃时 60%，其余约 45%，同时也说明了试样 21 的韧脆转折温度在 -40℃以下，其余在 -40℃以上。准解理的形貌也是有区别的，其中 21 断口的准解理中的韧窝脊是最多的，也是最宽的，宽度约 10 μm，其余的小于 5 μm；21 断口的解理刻面的尺寸也更小一些，也说明了有效晶粒尺寸小，在裂纹的扩展中能起到阻止的作用，所以韧性好。

4 结 论

(1) 所设计的 Mn-Ni-Cr-Mo-Ti-B-Ce 系和 Mn-Mo-Ti-B-Ce-Zr 系四种焊丝与两种不同的焊剂配合的熔敷金属屈服强度都大于 500 MPa 抗拉强度除 1 号焊丝外都大于 600 MPa，-40℃的韧性都大于 50 J，组织为针状铁素体和先共析铁素体，具有良好的韧性。

(2) 焊丝和较高碱度焊剂匹配时，提高了锰的过渡系数，降低了硅的含量，提高了熔敷金属韧性。

(3) 断口韧窝产生机理为微孔聚集型，断口韧窝底部存在大量 Mn、Ti、Al 和 S 的氧化物，尺寸为

250 nm 左右，这些夹杂物促进了针状铁素体的形成。

参考文献:

[1] Guo C J, Yu R Zh, Shu, *et al*. Existence of intragranular ferrite plates and nucleating inclusion in the heat affected zone of X-60 pipe steel[J]. Journal of Materials Science 1997 32(11): 2985-2989.

[2] Hart P H M, Mitchell P S. Effect of vanadium on the toughness of welds in structural and pipe steels[J]. Welding Journal 1995 74(7): 239-248

[3] Peng Yun, Chen Wuzhu, Xu Zuze. Laser welding of two super fine grain steels[J]. Transactions of the China Welding Institution 2001 22(2): 62-66.

彭云, 陈武柱, 许祖泽. 管线钢大电流双面高速埋弧焊用焊丝研制[J]. 焊接学报, 2001 22(2): 62-66

[4] Yuyuka N. TMCP steels and their welding[J]. Welding in the World 1995 35(6): 375-382

作者简介: 李红卫, 男, 1973 年 10 月出生。硕士研究生。主要从事焊接材料和焊接性研究。

Email: Lee_hw@163.com

[上接第 68 页]

参考文献:

[1] Andrzej Szulczek. Flow of metal undergoing laser irradiation[J]. Numerical Heat Transfer 1988 14(1): 253-263.

[2] Nazmi Postacioglu, Phiroze Kapadia, John Dowden. A theoretical model of thermocapillary flows in laser welding[J]. Journal of Physics D: Applied Physics 1996 24 15-20

[3] Wang Y, Shi Q, Tsai H L. Modeling of the effects of surface active elements on flow patterns and weld penetration[J]. Metal Trans B 2001 32B: 145-151.

[4] Georg Ehlen, Andreas Ludwig, Peter R S. Simulation of time dependent pool shape during laser spot welding[J]. Transient Effects 2003 34 2947-2961.

[5] Haseung Chung, Suman Das. Numerical modeling of scanning laser induced melting, vaporization and resolidification in metals subjected to step heat flux input[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer 2004 47: 4153-4164.

[6] Bertolotti M, Sibilia G, Ayappa K G. A fixed grid finite element based enthalpy formulation for generalized phase change problem: role of superficial mushy region[J]. Int. Journal of Heat Mass Transfer 2002 45 4881-4898

[7] Xiaohu Ye, Xi Chen. Three dimensional modeling of heat transfer and fluid flow in laser full penetration welding[J].

Journal of Physics D: Applied Physics 2002 35 1049-1059

[8] Junsheng Sun, Chuansong Wu, Min Zhang, *et al*. Numerical simulation of current density distribution in keyhole double sided arc welding[J]. Journal of Materials Science and Technology 2004, 20 228-232

[9] Kehnaz. Heat model for laser welding[J]. Journal of Applied Physics 1978 51(2): 941-947.

[10] Lankalapalli K. Model based laser weld penetration depth estimation[J]. Welding in the World 1997 39(6): 304-313

[11] Ramanan N, Korpe S A. Fluid dynamics of a stationary weld pool[J]. Metall Trans A 1990 21 A(6): 45-54

[12] Anthony T R, Cline H E. Surface rippling induced by surface tension gradients during laser surface melting and alloying[J]. Journal of Applied Physics 1977 48(9): 3888-3894.

[13] Volle V R, Prakash C. A fixed grid numerical modeling methodology for convection diffusion mushy region phase change problem[J]. International Journal Heat Mass Transfer 1987 30(9): 1709-1719

作者简介: 杜汉斌, 男, 1972 年 6 月出生, 工学博士。主要从事汽车用新材料焊接技术方面的研究、开发工作。发表论文 10 余篇。

Email: hanbind@scau.com.cn

Ti alloy welded joint WU Hua zhi GUO Hai ding GAO De ping
XU kai wang (Changzhou Institute of Technology Changzhou Jiangsu
213002 China). p93-95 107

Abstract The relationship of the maximum loading strain range with fatigue lifewas established. Selection of electrons microscopemagni-
fying multiple and measuring size in fatigue fracture fractal measure were
studied and secondary electron lines scanning fractal dimension was suc-
cessfully applied to measuring of Ti alloy welded joint fracture fractal di-
mension. The relationship is approximate direct ratio between fatigue frac-
ture fractal dimension and fatigue life. According to established model of
fatigue damage fractal evolution on welded joint. The fatigue damage frac-
tal evolution equation of TC11 Ti alloy welded joint was analyzed.

Keyword welded joint fatigue damage experiment fractal evo-
lution equation; fractal dimension measuring

High toughness submerged arc welding wire of ship steel LI
Hongwei^{1,2}, HE Chang hong², PENG Yun², TIAN Zhi ling², LIU
Rong pei¹, CHEN Yan qing³(1. Kun ming University of Science & Tech-
nology Kun ming 650093 China; 2 Central Iron & Steel Research Insti-
tute Beijing 100081 China; 3 Shougang Technical Research Institute
Beijing 100041 China). p96-100

Abstract The designing principle of chemical compositions of
Mn-Ni-Cr-Mo-Ti-B-Ce and Mn-Mo-Ti-B-Ce-Zr alloys high toughness sub-
merged arc welding wires was introduced. Submerged arc welding with
matched agglomerated flux was carried out to get the deposited metal. The
chemical compositions and microstructure of deposited metal were ana-
lyzed. Impact toughness and tensile strength were tested. Thermophology
of fracture appearance were observed by SEM and the inclusions were also
analyzed. Experiment results indicated that the developed welding wire
matched two kinds of flux can produce deposited metals of good mechan-
ical properties. Matched flux of higher basicity the deposited metals have
better mechanical properties ($\sigma_s > 500 \text{ MPa}$, $\sigma_b > 600 \text{ MPa}$, $A_{kv} / J (-20^\circ \text{C}) > 150$). Microstructure is composed of acicular ferrite and a
little proeutectoid ferrite.

Key words submerged arc welding deposited metal strength
toughness

**Acquisition and control of welding quality signals in laser welding of
Mg alloy plate** WANG Hong ying¹, LIU Shou yi, LIANG Xue
feng^{1,2}, LI Zhi jun (1. Industry center Shenzhen Polytechnic, Shenz-
hen 518055 China; 2 Harbin Institute of Technology Harbin 150001
China). p101-103

Abstract Based on the multi sensor data fusion technique and D-
S theory the method to control and monitor welding quality was designed
and experiment system was established. Results proved that this system is

suitable for obtaining welding quality information. Once welding defects
occurs the welding system will be stopped and welding parameters will
be revised to obtain good welding quality.

Key words magnesium laser welding multi sensor data fusion
welding quality

**Preparation and properties of thermal barrier ceramics gradient
coating by flame spraying** CHEN Wen hua GU Dong dong Q N
Zhan yan (College of Materials Science and Technolgy Nanjing Univer-
sity of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016 China). p104-
107

Abstract With optimizing the chemical compositions of the coat-
ing layer and the transition layer a dense $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}$ thermal barrier gra-
dient coating with a sound metallurgical bonding was prepared using an
oxyacetylene flame spraying. The results show that the Al_2O_3 distributes
uniformly in the coating. An excellent metallurgical bonding between the
steel base and the coating as well as a graded distribution of the chemical
compositions from the base to the coating surface is obtained. As com-
pared with the conventional Al_2O_3 thermal barrier coating and the thermal
barrier coating using the Ni as bottom layer and the Cu as transition layer,
the bonding strength flexural strength and heat shock resistance improve
significantly. The efficiency of the thermal barrier is found to increase
with the amounts of the coating layers and the content of the Al_2O_3 .

Key words Al_2O_3 thermal barrier coating gradient coating
flame spraying

**Nitride precipitation kinetics in high nitrogen austenitic stainless
steel and its effect on weldability** XIA Ming sheng TIAN Zhi ling
PENG Yun MA Cheng yong (Central Iron & Steel Research Institute
Beijing 100081 China). p108-112

Abstract High nitrogen austenitic stainless steel is a kind of al-
loyed structural steel substituted nitrogen for nickel showing good mechan-
ical and corrosion resistant properties. Nitrogen in the solid solution state
is the prerequisite for the austenitic stainless steel to have excellent proper-
ties. The steel is thermally unstable due to high content of nitrogen in sol-
id solution and has a tendency for nitride precipitation that will induce the
formation of other hard and brittle phases resulting in the degradation of
properties. Nitride precipitation is the primary type of nitrogen loss in the
heated affected zone during welding process. The nitride precipitation ki-
netics and cellular precipitation behavior were illuminated which can
provide some reference on the research and development of the steel and
the regulation of heat treatment processes.

Key words high nitrogen austenitic stainless steel dichromium
nitride precipitation kinetics weldability