

夹杂物对微合金钢熔敷金属针状铁素体形核的影响

国旭明<sup>1</sup>, 钱百年<sup>2</sup>, 王 玉<sup>3</sup>

(1. 沈阳航空工业学院 材料工程系, 沈阳 110034; 2. 中国科学院 金属研究所, 沈阳 110016;  
3. 沈阳特种设备检测研究所, 沈阳 110035)

**摘 要:** 研究了微合金钢熔敷金属中夹杂物大小、尺寸分布和化学成分对针状铁素体形核的影响。结果表明, 作为针状铁素体形核核心的夹杂物, 其尺寸大多数位于  $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$  之间, 并且是含有多种元素的复合夹杂物, 具有化学成分不均匀的性质。夹杂物作为一种高能的情性表面, 降低了形核能垒, 促进了针状铁素体的形核。当一个针状铁素体以夹杂物为初始核心先期形核后, 又可诱发大量的相互交错的针状铁素体感应形核。

**关键词:** 夹杂物; 熔敷金属; 针状铁素体; 形核

**中图分类号:** TG423      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-360X(2007)12-005-05



国旭明

0 序 言

近年来, 对微合金化高强钢焊缝金属组织与韧性的研究表明, 由于针状铁素体晶粒细小, 且相邻针状铁素体的板条间为大角度晶界, 晶粒内位错密度高达  $1.2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  左右<sup>[1]</sup>。因此, 具有针状铁素体组织的焊缝金属可以获得高的强度和良好的低温韧性。关于焊缝中针状铁素体的形成, 一致认为, 它是以焊缝中的夹杂物为核心, 呈放射性生长<sup>[2]</sup>。但有关夹杂物对焊缝中针状铁素体形核的作用机理却有不同观点, 有人认为形核夹杂物与针状铁素体间有小的晶格错配度, 而使界面能降低<sup>[3, 4]</sup>; 也有人认为夹杂物作为一种高能的情性表面, 诱发针状铁素体在其上形核<sup>[5, 6]</sup>。为了控制组织, 提高韧性有必要对焊缝中夹杂物促进针状铁素体形核的作用机理进行深入研究。作者通过分析微合金钢焊缝金属的微观组织, 研究了夹杂物对针状铁素体形核的影响。

1 试验材料及方法

试验采用自行研制的微合金化的埋弧焊丝 H05M, 焊剂选用碱度值分别为 1.8 的 SJ101 和 3.5 的 SJ102 烧结焊剂。试验焊丝 H05M 与焊剂 SJ101

和 SJ102 匹配所得熔敷金属的化学成分如表 1 所示。焊接设备为美国生产的 Miller 直流自动埋弧焊机, 焊接工艺参数为焊接电流 450 A, 电弧电压 32 V, 焊接速度 23 m/h。熔敷金属的显微组织观察全部取自最后一道焊缝, 然后在 MeF-3 型光学显微镜下观察和照相。熔敷金属夹杂物的大小、数量和尺寸分布用 IPS500 图像分析仪进行分析测定, 每个试样随机选取 10 个视场。通过透射电镜对复型萃取的形核夹杂物进行微区成分分析。

2 试验结果与讨论

2.1 夹杂物大小和尺寸分布对针状铁素体形核的影响

图 1 为 H05M 焊丝匹配不同焊剂, 所得熔敷金属夹杂物的尺寸分布图, 表 2 为焊缝中夹杂物几何特征的统计结果。从夹杂物分布的直方框图上可以看到, 两种焊缝的夹杂物分布均近似服从对数正态分布, 并且 85% 以上的夹杂物直径小于  $1 \mu\text{m}$ 。从统计结果看, 采用碱度值为 1.8 的 SJ101 焊剂焊接时, 直径在  $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$  之间的夹杂物占夹杂物总数的 60%, 平均直径为  $0.64 \mu\text{m}$ ; 而当采用碱度值为 3.5 的 SJ102 焊剂焊接时, 直径在  $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$  之间的夹杂物高达 75% 左右, 平均直径为  $0.46 \mu\text{m}$ , 非常接近于文献[7]所报道的有利于针状铁素体形核的夹杂物大小和分布。

表 1 熔敷金属的化学成分(质量分数, %)  
Table 1 Chemical compositions of deposited metals

焊缝	C	Mn	Si	Mo	Ti	B	Cu	S	P	O
H05M+SJ101	0.057	1.53	0.45	0.30	0.005	0.001 6	0.37	0.004 8	0.015	0.054
H05M+SJ102	0.048	1.84	0.25	0.30	0.009	0.001 4	0.37	0.004 0	0.016	0.039

表 2 焊缝中夹杂物分布的几何特征  
Table 2 Characteristics of inclusion distribution in welds

焊缝	焊丝和 焊剂	夹杂物平均直径 $d/\mu\text{m}$	面积分数 $F(\%)$	总的夹杂物 数密度 $N_{s_1}/(10^4\text{mm}^{-2})$	0.2~0.6 $\mu\text{m}$ 之间 夹杂物的数密度 $N_{s_2}/(10^4\text{mm}^{-2})$
11 号	H05M+ SJ101	0.64	0.63	1.72	1.08
12 号	H05M+ SJ102	0.46	0.31	1.21	1.01

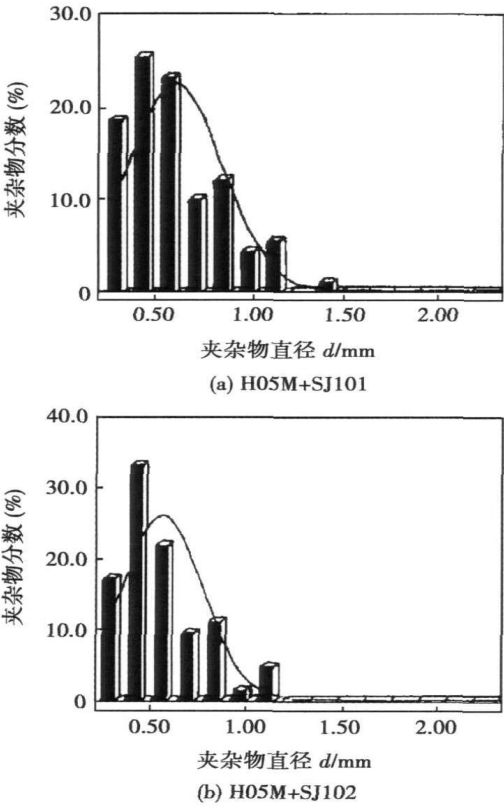


图 1 熔敷金属中夹杂物的尺寸分布  
Fig. 1 Size distribution of inclusions in deposited metals

图 2 为 H05M 焊丝分别匹配 SJ101 和 SJ102 焊剂所得熔敷金属的组织照片。可见,当采用碱度值为 1.8 的 SJ101 焊剂焊接时,焊缝中晶界铁素体和侧板条铁素体的数量较多,而针状铁素体的数量相对较少。当采用碱度值为 3.5 的 SJ102 焊剂焊接时,晶界铁素体呈断续分布,数量明显减少,而针状铁素体的数量显著增加,高达 95% 以上,这将有利于提高熔敷金属的韧性。

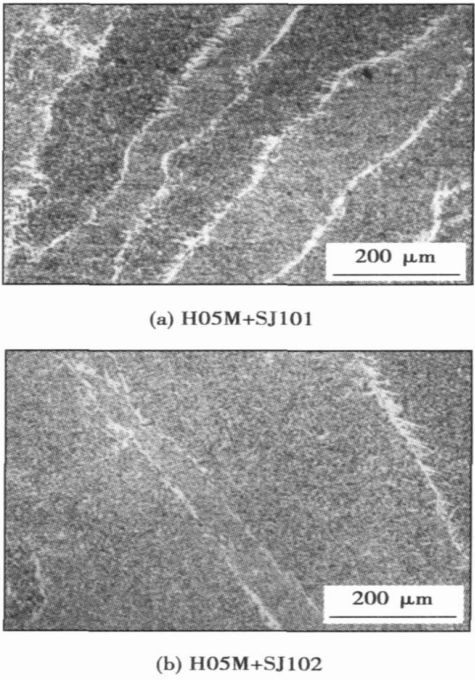


图 2 熔敷金属的显微组织  
Fig. 2 Microstructures of deposited metals

从上述试验结果可以看到,焊剂碱度的改变直接影响了焊缝中夹杂物的大小和尺寸分布,从而影响了焊缝中针状铁素体的数量。Grong 等人<sup>[8]</sup>通过对焊缝中针状铁素体形核机理的分析指出,当焊缝金属的淬硬性和冷却速度确定后,焊缝中针状铁素体的数量取决于焊缝中非金属夹杂物的性质、大小和尺寸分布。Jang 等人<sup>[9]</sup>也认为夹杂物的尺寸决定了夹杂物参与焊缝金属相转变的程度,并在试验中发现位于晶内的尺寸小于 0.6 μm 的夹杂物促进了针状铁素体的形核。文献[10]根据针状铁素体在球形夹杂物上形核的模型,给出了铁素体在夹杂物/奥

氏体基体界面的形核率  $N_{\text{nle}}$  为

$$N_{\text{nle}} \propto S^l_{\text{v}} \exp(-\frac{\Delta G_{\text{l}}}{KT}) \propto \frac{3V^l_{\text{v}}}{R_1} \exp[-\frac{f(\theta, \frac{R_1}{r_c})\Delta G_{\text{H}}}{KT}], \quad (1)$$

$$f(\theta, \frac{R_1}{r_c}) = \frac{\Delta G_{\text{l}}}{\Delta G_{\text{H}}}, \quad (2)$$

式中:  $\Delta G_{\text{l}}$ ,  $\Delta G_{\text{H}}$  分别为非均质形核和均质形核的能垒;  $S^l_{\text{v}}$ ,  $V^l_{\text{v}}$  分别为单位体积夹杂物的界面面积和夹杂物的体积分数;  $K$ ,  $T$  分别为波尔兹曼常数和绝对温度;  $R_1$ ,  $r_c$  分别为夹杂物半径和临界晶核半径;  $f$  为铁素体形核能力;  $\theta$  为铁素体晶核与夹杂物之间的接触角。

设  $\theta$  为  $\pi/4$ ,  $\pi/2$ ,  $3\pi/4$  时, 得到了  $f$  与  $R_1/r_c$  之间的关系曲线, 如图 3 所示。可见, 当  $R_1/r_c \rightarrow 1$  时,  $f \rightarrow 1$ , 即  $\Delta G_{\text{l}} \rightarrow \Delta G_{\text{H}}$ , 形核相当于均质形核, 故很小的夹杂物不可能成为有效的形核位置。当超过 10 后,  $f$  将几乎不再变化, 由式(1)可知, 形核率  $N_{\text{nle}}$  降低, 说明尺寸很大的夹杂物, 其作为形核核心的能力减弱。因此, 能成为针状铁素体形核核心的夹杂物的尺寸存在一最佳范围。作者经过大量的金相观察和统计也发现, 作为针状铁素体形核核心的夹杂物的尺寸, 绝大多数位于  $0.2 \sim 0.6 \mu\text{m}$  之间。因此说焊缝中夹杂物的大小和分布对针状铁素体的形成产生了重要的作用。

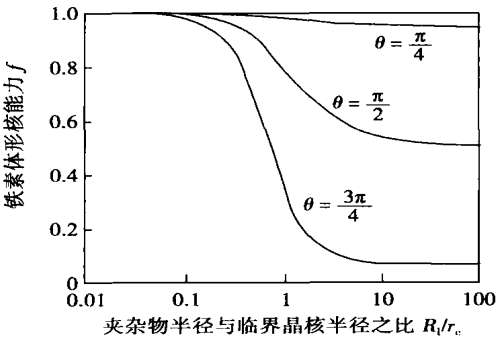


图 3 铁素体在夹杂物上的形核能力  $f$  与  $R_1/r_c$  比值之间的关系曲线

Fig. 3 Ability of acicular ferrite nucleation at inclusions  $f$  as a function of ratio of  $R_1/r_c$

2.2 夹杂物的化学性质对针状铁素体形核的影响

通过透射电镜, 对碳复型萃取的形核夹杂物进行微区成分分析发现, 形核夹杂物具有成分不均匀的性质。在焊缝中的位置不同, 形核夹杂物的主要元素的峰值不同, 甚至在同一夹杂物的不同部位, 其

主要成分的峰值也不同。图 4 为 11 号焊缝中某一形核夹杂物的形貌。表 3 为该夹杂物不同部位的微区成分分析结果。可见, 在夹杂物的中心 1 号区域, 主要以 Si, Mn 元素为主; 在夹杂物边缘的 2 号区域, 主要以 S, Mn, Si 元素为主; 而在边缘的 3 号区域, 主要以 Si, Mn, Al 元素为主。

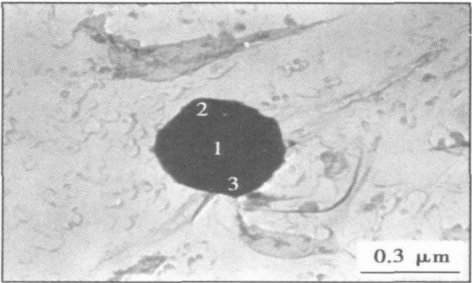


图 4 11 号焊缝中某一多相形核夹杂物的形貌  
Fig. 4 Morphology of an inclusion for nucleation in 11 # weld

表 3 11 号焊缝中形核夹杂物不同区域的成分(质量分数, %)  
Table 3 Compositions of different areas at an inclusion for nucleation in 11 # weld

区域	Al	Si	Mn	Ti	S
1	8.419	24.687	56.378	6.802	3.714
2	4.668	13.760	56.325	1.692	23.554
3	18.703	23.326	52.705	3.607	1.659

图 5 为 12 号焊缝中某一形核夹杂物的形貌。其不同部位的微区成分分析结果如表 4 所示。可见, 在夹杂物的中心 1 号区域, 主要含有 Al, Si, Mn 元素; 在夹杂物边缘的 2 号区域, 主要富集 Al, Si, Mn, Ti 元素; 而在边缘的 3 号区域, 主要以 Al, Si, Mn 元素为主。

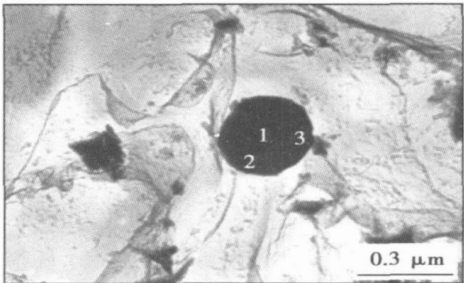


图 5 12 号焊缝中某一多相形核夹杂物的形貌  
Fig. 5 Morphology of an inclusion for nucleation in 12 # weld

根据上面的微区成分分析结果可以看出, 夹杂物虽然都是由 Mn, Si, Al, Ti, S 等元素组成, 但它们是

表 4 12号焊缝中形核夹杂物不同区域的成分(质量分数, %)

区域	Al	Si	Mn	Ti	S
1	12.700	27.139	54.989	4.067	1.105
2	9.651	16.559	45.140	25.983	2.667
3	11.978	26.772	52.668	4.107	4.474

由多种相复合而成的;而且夹杂物表层的成分相也是变化的。如图 4 中的夹杂物的表层含有  $MnS$ ,  $MnO-SiO_2$  或  $Al_2O_3-MnO-SiO_2$  等成分相;而图 5 中的夹杂物表层覆盖有  $TiO-MnO-SiO_2$  或  $Al_2O_3-MnO-SiO_2$  等成分相。由于夹杂物表层的成分不同,因而改变了夹杂物的表面能,从而改变了针状铁素体形核的速率。几乎一致认为,表层含有  $TiO$  的夹杂物,促进了针状铁素体形核。作者的试验结果也证实了随着焊缝中  $Ti$  含量的增加,焊缝中针状铁素体的含量亦增加。这说明了富钛氧化物在针状铁素体形核过程中,具有积极的作用。但从图 4 中也发现了表层不含  $Ti$  的夹杂物,也促进了针状铁素体形核。因此说,夹杂物表层的化学成分,可能影响了针状铁素体形核,但不是决定针状铁素体形核的决定因素。由于在所研究的焊缝中,夹杂物在其表面上提供了多个相,每一个相可能具有不同的表面能,这样具有高表面能的局部区域,可以促进铁素体的非均质形核。因此可以认为,夹杂物只是作为惰性基体,降低了形核能垒,而促进了针状铁素体形核。一般认为,熔点越高,表面能就越大。像  $TiO$ ,  $TiN$ ,  $Al_2O_3$ ,  $MnO$ ,  $SiO_2$  和  $MnS$  等高熔点相,都有高的表面能<sup>[11]</sup>。由于每一夹杂物都包含了几个相,因而每一夹杂物都会有几个适宜的形核地点。于是在一个夹杂物上,会呈放射状的形成多个针状铁素体,这就使针状铁素体在夹杂物上多维形核。图 6 为一个夹杂物诱发多个针状铁素体形核的扫描电镜照片。同时发现感应形核在针状铁素体的形成过程中也发挥了重要作用,感应形核所得的针状铁素体,与先期形成的针状铁素体呈交错形式存在。因此说,夹杂物的作用是为少部分一次针状铁素体提供形核位置。当夹杂物表面饱和后,更多的细小二次针状铁素体,在一次针状铁素体形成的  $\gamma/\alpha$  界面上感应发生。这是因为在夹杂物上形成的一次针状铁素体板条,增大了二次针状铁素体的形核位置— $\gamma/\alpha$  界面面积。这样当  $\gamma$  的过冷度很大时,促使了二次针状铁素体在  $\gamma/\alpha$  界面上的感应形核。这种在新的  $\gamma/\alpha$  界面上的感应形核的机理,解释了试验中,发现的大多数

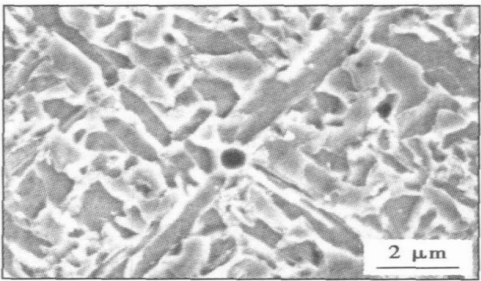


图 6 针状铁素体的多维形核和感应形核  
Fig. 6 Multiple nucleation of acicular ferrite at inclusion and sympathetic nucleation

针状铁素体晶粒与夹杂物无关的现象。

3 结 论

- (1) 焊缝中夹杂物的大小和分布对针状铁素体的形成具有重要的作用,作为针状铁素体形核核心的夹杂物,其尺寸大多数位于  $0.2\sim0.6\mu m$  之间,并且是含有多种元素的复合夹杂物,具有化学成分不均匀的性质。
- (2) 夹杂物作为一种高能的情性表面,降低了形核能垒,而促进了针状铁素体的形核。当一个针状铁素体以夹杂物为初始核心先期形核后,又可诱发大量的相互交错的针状铁素体感应形核。

参考文献:

[ 1 ] 于启湛. 钢的焊接性[ M ]. 北京: 机械工业出版社, 1992.  
[ 2 ] 张文钺. 焊接冶金学[ M ]. 北京: 机械工业出版社, 1997.  
[ 3 ] Mori N, Homma H, Okita S. Mechanism of notch toughness improvement in Ti-B bearing weld metals[ R ]. IIW DOC IX-1196-81.  
[ 4 ] Mills A R, Thewlis G, Whiteman J A. Nature of inclusions in steel weld metals and their influence on formation of acicular ferrite[ J ]. Materials Science and Technology, 1987, 3(12): 1051—1061.  
[ 5 ] Ricks R A, Howell P R, Barritle G S. The nature of acicular ferrite in HSLA steel weld metals[ J ]. Journal of Materials Science, 1982, 17(3): 732—740.  
[ 6 ] Zhang Z, Famar R A. Role of non-metallic inclusions in formation of acicular ferrite in low alloy weld metals[ J ]. Materials Science Technology, 1996, 12: 237—260.  
[ 7 ] Fox A G, Brothers D G. The role of titanium in the non-metallic inclusions which nucleate acicular ferrite in the submerged arc weld fusion zones of navy HY-100 steel[ J ]. Scripta Metallurgica Materialia, 1995, 32(7): 1061—1066.  
[ 8 ] Gong Q, Maclock D K. Microstructural development in mild and low-alloy steel weld metals[ J ]. International Metals Reviews, 1986, 31(1): 27—47.

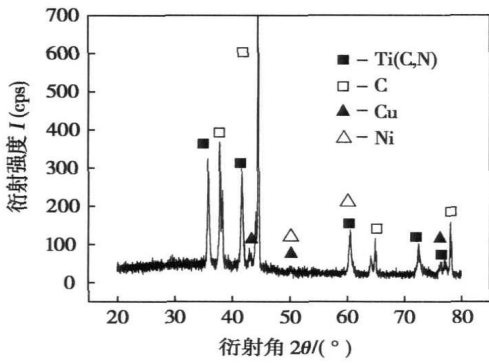


图 3 断口 Ti(C, N) 一侧 XRD 测试结果(铜箔)

Fig 3 Test results of Ti(C, N) side of fracture(Cu foil)

金属陶瓷的润湿性较差,特别是对 Ti(C, N)硬质相几乎不润湿。当采用铜箔作为释放残余应力的中间层材料时,由于铜箔大量溶解并在 Ti(C, N)基金属陶瓷一侧富集,使得 Ag-Cu 钎料与 Ti(C, N)基金属陶瓷之间的界面能升高,润湿性变差,最终导致界面结合力下降、接头强度衰减的结果。而使用镍箔作为释放残余应力的中间层材料时,由于其与 Ti(C, N)基金属陶瓷的粘结相 Ni 是同种元素,因此镍箔的溶解不但不会降低 Ag-Cu 钎料对 Ti(C, N)基金属陶瓷的润湿,而且可以改善其润湿性,提高界面结合力。但由于镍箔的屈服极限较高,作为缓解接头残余应力的中间层材料效果不如铜箔,钎焊过程中接头易在靠近钎缝的 Ti(C, N)基金属陶瓷一侧引发较高的残余应力,从而造成强度测试时裂纹沿靠近钎缝的 Ti(C, N)基金属陶瓷一侧扩展。

3 结 论

(1) 使用铜箔作为中间层材料虽然可以有效释

放接头的残余应力,但由于其在钎焊过程中大量溶解,削弱了钎料与 Ti(C, N)基金属陶瓷的化学相容性,降低了界面结合力,从而严重制约了接头强度的提高。通过选择合理的工艺参数达到有效控制铜箔溶解才是 Ti(C, N)基金属陶瓷/铜箔/45 钢钎焊体系首要解决的问题。

(2) 采用镍箔作为缓解接头残余应力的中间层材料,其突出特点表现在具有较高的界面强度,与不加中间层的钎焊接头相比强度显著提高。作为进一步提高接头强度的有效措施应设法减小接头残余应力峰值,改善残余应力分布状态。

参考文献:

[1] 郑 勇,熊惟皓. Ti(C, N)基金属陶瓷界面问题的研究进展[J]. 材料导报, 2001, 15(3): 7-9.  
[2] 徐 强,张幸红,曲 伟,等. 金属陶瓷的研究进展[J]. 硬质合金 2002 19(4): 221-225.  
[3] 熊惟皓,胡镇华,崔 崑. Ti(C, N)基金属陶瓷的相界面过渡层[J]. 金属学报, 1996, 32(10): 1075-1080.  
[4] 吴铭方,周小丽,马 骋. Ti(C, N)/40Cr 钎焊接头残余应力数值计算[J]. 焊接学报, 2006, 27(12): 65-68.  
[5] Zhang J X, Chandel R S, Chen Y Z, et al. Effect of residual stress on the strength of an alumina-steel joint by partial transient liquid phase (PTLP) brazing[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 122(2): 220-225.  
[6] 何 鹏,冯吉才,钱乙余. 异种材料扩散连接接头残余应力的分布特征及中间层的作用[J]. 焊接学报, 2002 23(2): 76-80.  
[7] 吴铭方,马 骋,杨 敏. Ti(C, N)基金属陶瓷/40Cr 钢钎焊接头减应措施研究[J]. 焊接技术, 2006, 35(3): 18-19.

作者简介: 吴铭方,男,1962 年出生,硕士,教授。主要从事异种材料连接技术研究工作。发表论文 15 余篇。

Email: wu\_mingfang@163.com

[上接第 8 页]

[9] Jang J, Indacochea J E. Inclusion effects on submerged arc weld microstructure[J]. Journal of Materials Science, 1987, 22(2): 689-700.  
[10] Bott I S, Rios P R. On the effectiveness of inclusions as nucleation sites in weld deposits[J]. Scripta Materialia, 1998, 38(8): 1269-1274.  
[11] Dowling J M, Corbett J M, Kerr H W. Inclusion phase and nucle-

ation of AF in submerged arc welds in high strength low alloy steels [J]. Metallurgical Transaction A, 1986, 17(9): 1611-1638.

作者简介: 国旭明 男,1965 年出生,博士,教授。主要从事材料焊接性及特种焊接材料研制、材料表面改性等方面的科研和教学工作。申请发明专利 6 项,获授权 4 项,获国防科技进步二等奖 1 项。发表论文 47 篇。

Email: guoxuming@sohu.com

MAIN TOPICS, ABSTRACTS & KEY WORDS

Effect of P and rare-earth La on microstructure and property of AgCuZnSn brazing alloy

LI Zhuoran<sup>1</sup>, JIAO Ning<sup>1</sup>, FENG Jicai<sup>1</sup>, CHEN Yijun<sup>2</sup> (1. State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. Jinhua Seleno Brazing Alloys Manufacture Co., Ltd. Jinhua 321017, Zhejiang, China). p1—4

**Abstract:** The P and rare-earth La were added into AgCuZn-Sn brazing alloy. The effect of P and La on the microstructure and property of AgCuZnSn cadmium-free brazing alloy system was investigated. The results showed that the addition of P could decrease the interfacial tension between liquid brazing alloy and specimen, and the wettability and fluidity were also improved. With the addition of La, the wettability of the brazing alloy was improved, while the wettability decreased as the content of La increased. The microstructure of AgCuZnSn brazing alloy consisted of CuZn intermetallic compound, Cu<sub>5</sub>6Sn intermetallic compound and Ag-rich phase. The black Cu<sub>3</sub>P compound was generated when P was added. And addition of La could make microstructure homogeneous, and restrain the growth of intermetallic compound.

**Key words:** brazing alloy; microstructure; wettability; La

Effects of nonmetallic inclusions on acicular ferrite nucleation in deposited metals of microalloyed steel

GUO Xuming<sup>1</sup>, QIAN Bainian<sup>2</sup>, WANG Yu<sup>3</sup> (1. Department of Material Engineering, Shenyang Institute of Aeronautic Engineering, Shenyang 110034, China; 2. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 3. Shenyang Institute of Special Equipment Inspection & Research, Shenyang 110035, China). p5—8, 12

**Abstract:** The effects of the size, distribution and chemical composition of inclusions on nucleation of acicular ferrite in deposited metals of micro-alloyed steel were studied. The results show that the inclusions as nuclei of acicular ferrite are chemical heterogeneous compounds containing various elements. Most of them are within 0.2—0.6 μm in diameter. The inclusions reduce the energy barrier to nucleation by acting as high-energy inert substrates, promoting the nucleation of acicular ferrite. The primary acicular ferrite plates initially nucleate at intragranular inclusions and then many fine interlocked acicular ferrite grains nucleate sympathetically and grow from the primary plates.

**Key words:** inclusion; deposited metal; acicular ferrite; nucleation

Brazed joint structure and mechanical property of Ti(C,N) and 45 steel

WU Mingfang, CHEN Jian, PU Juan, YUAN Yuan

(Provincial Laboratory of Advanced Welding Technology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, Jiangsu, China). p9—12

**Abstract** The Cu foil and Ni foil with different thickness were used as the interlayer to ease the residual stress of the joint, and the brazing experiment was conducted in the case of brazing parameters which brazing temperature is 20 °C and holding time is 20 mins. The results show that the three-point bending strength increases smoothly when thickness of Cu foil or Ni foil is increased from 100 μm to 300 μm. Because Cu foil can be solved in the brazing process, which abates the chemistry consistency of brazing filler metal and Ti(C,N)-based metal ceramic and reduces the cohesion of interface, the increase of the joint strength was confined. When Ni foil was used, the prominent characteristic is the higher interface strength compared to the joint brazed Cu foil, but its effect of easing the residual stress is not good, and stress concentration phenomenon is created easily on the side of Ti(C,N)-based metal ceramic next to the brazing seam.

**Key words:** metal ceramic; steel; brazing; interlayer; strength

X-ray diffraction analysis of 7A52 aluminum alloy MIG welded joint

HUANG Jiwu<sup>1</sup>, YIN Zhimin<sup>1</sup>, NIE Bo<sup>1,2</sup>, XIAO Jin<sup>1</sup>, CHEN Jiqian<sup>1</sup> (1. School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Northeast Light Alloy Co. Ltd., Harbin 150060, China). p13—17

**Abstract** 7A52 alloy plate was welded by means of MIG (metal inert gas) welding using Al—Mg—Mn—Sc—Zr micro-alloyed wire. The specimens cut down at different regions of the welded joint were diffracted accurately by high-power X-ray diffractometer. The results showed that there are 4 different heat diffusion zones in the welded joint, these zones had themselves substantive characteristics. The first was the weld, and it was the α—Al matrix as cast structure distanced the weld centre line about 0—4 mm. The second was the semi-melted zone, and it distanced the weld centre line about 4—10 mm. The nanocrystalline η' (MgZn<sub>2</sub>) phase and Al<sub>6</sub>Mn re-precipitated in nature ageing process when it was laid at room temperature. The region distanced the weld centre 10—16 mm was the low temperature solution zone, and the strengthening phases re-dissolved into α—Al matrix partly at the weld temperature but could not re-precipitate at room temperature. The fourth was a soften zone. In this zone, the strengthening phase growth and formed the T phase. It was the reason of strength decreasing. Because the effects of welding heat on zones were different, it lead to different solid sol-