

In₂O₃ 对 N 60 激光熔覆层的影响

晁明举, 杨 坤, 袁 斌, 梁二军

(郑州大学 物理工程学院 教育部材料物理重点实验室, 郑州 450052)

摘 要: 向 N 60 合金粉末中加入适量的 In₂O₃, 选取合适的工艺参数, 采用激光熔覆技术在 45 钢表面上获得了无裂纹的高质量熔覆层。对熔覆层显微组织进行了观察和分析, 测试了熔覆层的显微硬度和摩擦磨损性能。结果表明, 同未加入 In₂O₃ 的 N 60 激光熔覆层相比, 加入适当比例 In₂O₃ 的 N 60 熔覆层, 虽然硬度有所降低, 但硬度分布更加均匀, 且在该文摩擦条件下耐磨性提高。In₂O₃ 能够降低 N 60 激光熔覆层裂纹敏感性的原因在于适量的 In₂O₃ 能够抑制粗大块状硬质相的生长, 改善枝晶分布, 细化组织晶粒, 提高涂层韧性。

关键词: 激光熔覆; 裂纹; 耐磨性; In₂O₃

中图分类号: TG 156.99 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)08-27-04



晁明举

0 序 言

利用激光熔覆技术将高硬度镍基合金涂敷在机器设备零部件的易损、易蚀或易氧化部位的表面上, 可形成一层耐磨、耐蚀、抗氧化涂层, 不但可满足机器设备的性能要求, 延长使用寿命, 而且可使用价格较低的常用结构材料代替具有特殊性能而较昂贵的高级合金材料制造机器设备零部件, 从而降低生产成本, 节约贵重的战略原材料。然而在激光熔覆高硬度镍基合金中, 熔覆层的裂纹问题是其工业应用的一大障碍^[1]。对此, 国内外学者进行了许多研究^[2-3], 并取得了一些进展。不少研究表明, 在合金粉末中加入其它元素可降低覆层的裂纹敏感性, 如加入稀土元素^[4], TiO₂^[5], MgO^[6]等。文中通过向镍基自熔性合金粉末中加入适量的 In₂O₃ 粉末得到了高质量的无裂纹的激光熔覆层, 同未加入 In₂O₃ 的覆层相比较, 许多方面的性能都得以改善。

1 试 验

1.1 试验材料

试验用基材为热轧 45 号钢, 其成分如表 1 所示。样品尺寸为 100 mm × 30 mm × 20 mm。合金粉末为

N 60 标称成分如表 2 粒度 -150 ~ +300 目。所加入的 In₂O₃ 为分析纯, 纯度 > 99.9%。加入质量分数分别为 0.0%、0.2%、0.3%、0.4% 和 0.5%。

表 1 45 号钢成分 (质量分数, %)

Table 1 Composition of steel 45

C	Si	Mn	P	S	Fe
0.45	0.27	0.64	0.016	0.0022	余量

表 2 N 60 金粉末成分 (质量分数, %)

Table 2 Composition of N 60 powder

C	Cr	B	Si	Fe	Ni
0.8	16	3.0~4.5	3.5~5.5	<17	余量

1.2 试验过程及分析方法

试验前将试样表面打磨并用丙酮清洗干净, 100 °C 下预热 2 h。试验用激光器为 TJ-HL-5000 CO₂ 连续波激光器, 工作模式为多模, 工作台为 SIEMENS 数控机床。采用自动送粉工艺。试验中聚焦光束垂直照射并以一定的速度扫描试样表面, 同轴吹 Ar 保护。扫描速度 2 mm/s, 激光功率分别为 1.6 kW、1.8 kW、2.0 kW、2.2 kW 和 2.4 kW, 离焦量 50 mm, 送粉率 19 g/min。

熔覆后, 采用着色渗透法检测熔覆层表面裂纹, 然后将试样沿垂直于扫描方向线切割, 抛光后用 5% 的硝酸酒精溶液腐蚀。在 4XB-TV 金相显微镜下观察显微组织, 在 HXD-1000 显微硬度仪上测

收稿日期: 2004-09-06

基金项目: 河南省杰出人才创新基金资助项目 (0121001200); 河南省高校青年骨干教师资助计划项目 (2003-218)。

试硬度,载荷 300 g 保持时间 15 s 在 MRH-3 高速环块磨损试验机上进行摩擦磨损试验,上试样 12 mm×12 mm×19 mm,熔覆层面为待磨面。下试样为标准环 (GCr15),硬度 HRC 60.5。摩擦试验参数:滑动速度 54.07 m/min 持续时间 900 s 载荷 300 N,大气室温无润滑滑动摩擦。使用分析天平 (精度 0.1 mg)测试试块摩擦前后质量,计算摩擦磨损失重。

2 试验结果与分析

2.1 表面裂纹检测

图 1 是采用着色渗透法检测裂纹的照片,其中图 1a 左边是 Ni60+0.2% In₂O₃,从上到下激光功率依次是 1.6 kW、2.4 kW、2.0 kW 搭接、2.2 kW、2.0 kW 和 1.8 kW;右边为 Ni60+0.3% In₂O₃,从上到下功率分别是 1.6 kW、1.8 kW、2.0 kW、2.2 kW、2.4 kW 与 2.0 kW 搭接,图 1b 左边是 Ni60+0.5% In₂O₃,从下到上功率分别是 1.6 kW、1.8 kW、2.0 kW、2.2 kW、2.4 kW 与 2.0 kW 搭接,右边是 Ni60+0.4% In₂O₃,从上到下功率分别是 1.6 kW、1.8 kW、2.0 kW、2.2 kW、2.4 kW 与 2.0 kW 搭接,图 1c 为纯 Ni60 从上到下功率分别是 1.6 kW、1.8 kW、2.0 kW、2.2 kW 与 2.0 kW 搭接。从图 1a、b、c 中可以看出,纯 Ni60 的激光熔覆层不论单道还是多道搭接都出现了多道裂纹,而往 Ni60 粉末中加入不同含量的 In₂O₃ 后,熔覆层的裂纹数目有不同程度地减少;当 In₂O₃ 含量为 0.3% 时 (质量分数),不论是单道还是多道搭接均未出现裂纹,而 In₂O₃ 含量为 0.2%、0.4% 和 0.5% 时,只是个别功率下的熔覆层没有出现裂纹。这说明往 Ni60 粉末中加入 In₂O₃ 可以降低 Ni60 激光熔覆层的裂纹敏感性,当 In₂O₃ 含量为 0.3% 时,甚至可以消除熔覆层裂纹。

2.2 金相组织分析

图 2a 为纯 Ni60 粉末在 2 kW 工艺条件下的激光熔覆层显微组织,许多粗大的枝状物、块状物、一些较小的颗粒分布在基体中。粗大的枝状物是碳化物相,块状物为以 Cr 为主的硼化物或碳化物相,较小的颗粒相为 Ni₃B。这三种相是涂层的强化相。而基体是 γ(Ni-Cr-Fe) 和多种碳化物的伪共晶组织,是涂层的韧性相^[7~9]。

图 2b 为 Ni60+0.3% In₂O₃ 在 2 kW 工艺条件下的激光熔覆层显微组织,均匀细小的树枝晶规则分布在基体中。与图 2a 相比,组织明显细化,大块

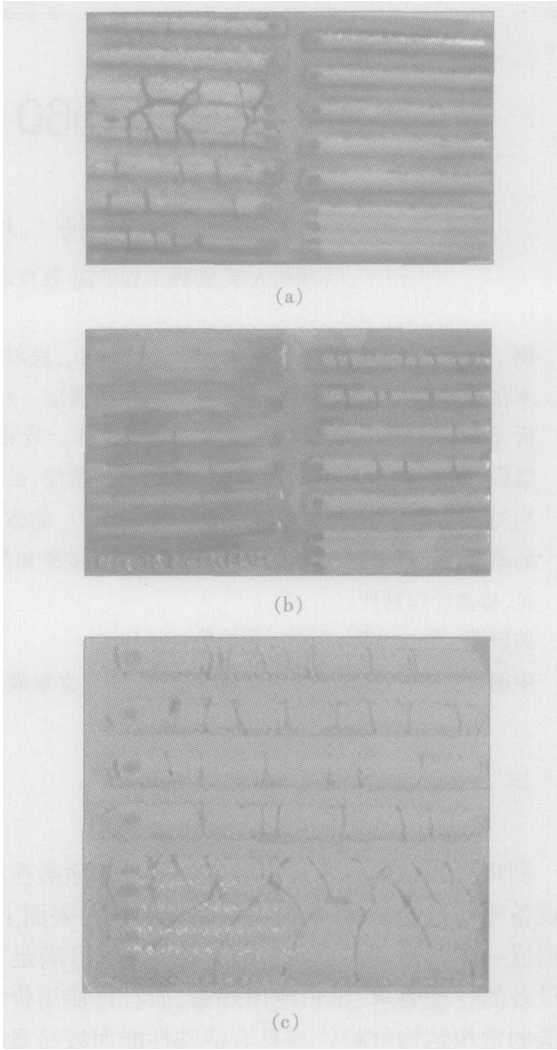


图 1 熔覆层裂纹检测
Fig 1 Cracks of coated layer

的块状物不复存在。在激光熔覆 In₂O₃-Ni60 过程中,熔池中的 Cr-Fe 与 In₂O₃ 发生作用置换出 In。一方面 In 与 C 或 B 生成稳定的化合物析出,形成异质核,增加了形核率,起到均匀和细化晶粒的作用,另一方面由于 In 与 B 的作用,熔体中 B 的浓度降低,熔体的化学成分发生变化,不再产生粗大的块状相 (主要是 Cr 的 B 化物和 C 化物),从而组织也得到细化。这一点可以从 XRD 图谱上得到验证。图 3a 是 Ni60 的 XRD 图谱,图 3b 是 Ni60+0.3% In₂O₃ 的 XRD 图谱。两者相比较,可以看出, Ni60 中的 Cr 的 B 化物和 C 化物相在加入 0.3% In₂O₃ 后就消失了。

Ni60 激光熔覆层出现裂纹的主要原因是熔覆层中大量存在的多种硬质相以及硬质相的不良分布形态所造成的熔覆层总体高脆性难以承受熔覆过程所产生的较大拉应力^[3]。降低其裂纹敏感性的一个主要途径就是设法细化粗大的硬质相,改善其

在基体中的分布。加入适当比例的 In_2O_3 后, 组织中粗大的块状硬质相得到抑制, 且枝晶也得以细化。因而降低了 Ni60 激光熔覆层的裂纹敏感性, 抑制甚至消除了裂纹的产生。

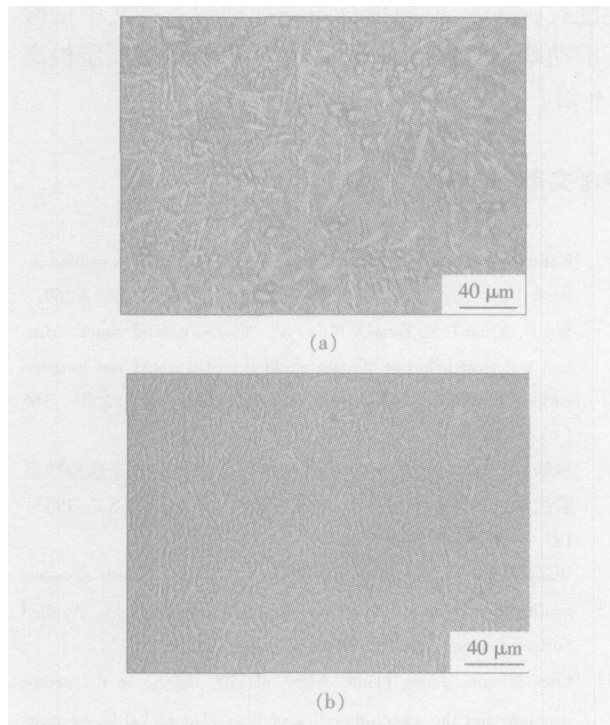


图 2 熔覆层显微组织
Fig. 2 Microstructure of clad layers

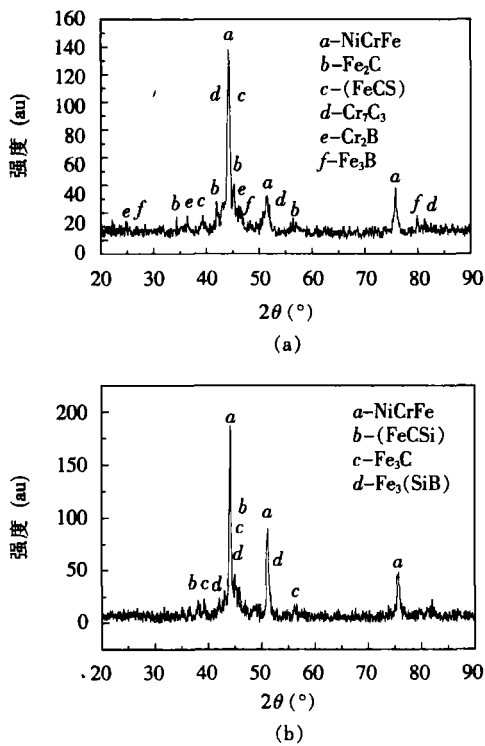


图 3 熔覆层表层的 X 射线衍射图
Fig. 3 X ray diffraction spectra of surface layer of clad layer

2 3 硬度分析

图 4 是 Ni60 激光熔覆层和 Ni60+0.3% In_2O_3 熔覆层在激光功率为 1.8 kW 条件下横截面的硬度分布曲线, 从图中可以看出, 加入 In_2O_3 比未加入 In_2O_3 的熔覆层硬度有所降低。但硬度分布更加均匀, 熔覆层韧性提高。这从显微组织中找到原因: 加入 In_2O_3 后 Ni60 熔覆层组织中粗大的块状相消失, 且枝晶均匀细化, 所以硬度有所降低且分布均匀, 韧性提高。

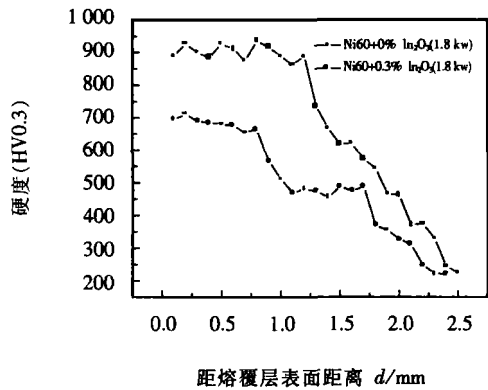


图 4 熔覆层横截面硬度分布
Fig. 4 Hardness distribution across laser clad layer

2 4 摩擦试验

图 5 是在 300N 载荷干摩擦条件下 Ni60, Ni60+0.2% In_2O_3 , Ni60+0.3% In_2O_3 和 Ni60+0.4% In_2O_3 各熔覆层试样 (图 5 中 A、B、C、D) 的摩擦磨损失重图。与未加入 In_2O_3 (试样 A) 相比, 加入 In_2O_3 后, 各试样 (试样 B、C 和 D) 的磨损失重均有不同程度的减小, 熔覆层耐磨性提高, 当含量 0.3% 时, 效果最好。

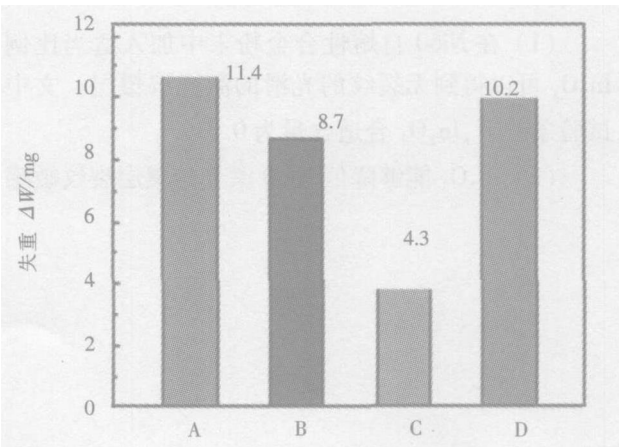


图 5 摩擦磨损失重
Fig. 5 Wearing and tearing mass loss of specimens

图 6a b分别为试样 A 和 C 的磨损表面形貌。从图中可以看出两者的磨损均为犁削磨损,但试样 A 的表面出现了很多剥落坑,而试样 B 则几乎没有出现剥落坑。这主要是因为 Ni60 激光熔覆层中有粗大的针状、块状脆性相存在,在较高应力长时间作用下,脆性相破裂而剥落。而加入适当比例 In_2O_3 的熔覆层中由于没有粗大的脆性相,细小而均匀的硬质相起到很好的支撑作用,不易剥落,从而具有更好的耐磨性。

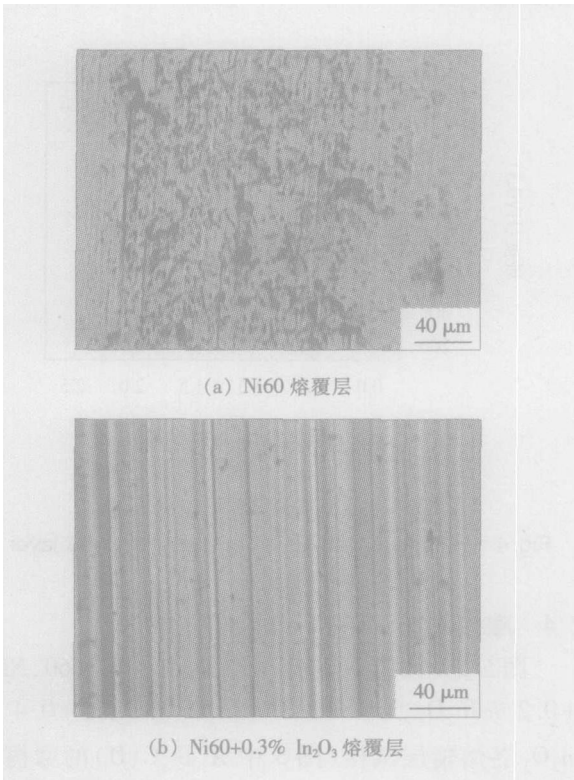


图 6 磨损表面形貌

Fig 6 Appearance ofwearing surface

3 结 论

(1) 在 Ni60自熔性合金粉末中加入适当比例 In_2O_3 可以得到无裂纹的光滑的激光熔覆层。文中试验条件下, In_2O_3 合适含量为 0.3%。

(2) In_2O_3 能够降低 Ni60激光熔覆层裂纹敏感

性的原因在于加入适当比例的 In_2O_3 后能够抑制粗大块状硬质相的生长,改善枝晶的分布,细化组织晶粒,提高涂层韧性。

(3) 加入适当比例 In_2O_3 的 Ni60熔覆层,虽然硬度有所降低,但硬度分布更加均匀。在文中试验干滑动摩擦的条件下,耐磨性比纯 Ni60熔覆层提高 1.6倍。

参考文献:

[1] Kathuria Y P. Some aspects of laser surface cladding in turbine industry[J]. Surf Coat Tech, 2000 132 (2~3): 262 - 269

[2] Wu B, Zhou C Z, Tang X N, *et al* Microstructural characterization and wear behavior of laser clad nickel based and tungsten carbide composite coatings[J]. Surf Coat Tech, 2003 166 (1): 84 - 88

[3] 钟敏霖, 刘文今, 任家烈. NiCrSiB合金高功率激光送粉熔覆裂纹形成的敏感因素[J]. 应用激光, 2000 20(5): 193 - 197.

[4] Wang K L, Zhang Q B, Sun M L, *et al* Rare earth elements modification of laser clad nickel based alloy coatings[J]. Applied Surface Science 2001 174(3-4): 191 - 200.

[5] Chao Mingji, Liang Erjun. Effect of TfO_2 doping on the micro structure and the wear properties of laser clad nickel based coatings[J]. Surf Coat Tech, 2004 179(2-3): 265 - 271

[6] 梁二军, 杜利平, 陈长青, 等. CeO_2 、 Y_2O_3 和 MgO 对镍基碳化物金属陶瓷熔覆层裂纹及组织的影响[J]. 应用激光, 2001, 21(6): 385 - 388

[7] 王安安, 袁 波. 激光熔敷 NiCrSiB合金组织与物相研究[J]. 中国激光, 1997 A 24(2): 169 - 173

[8] Ming Q ian, Lin L G, Chen Z D. Laser cladding of nickel based hardfacing alloys[J]. Surf Coat Tech, 1998 106 (2-3): 174 - 182

[9] 李 强, 王富耻, 雷廷权, 等. 激光熔覆 Ni-Cr-B-Si-C合金的组织及其摩擦磨损特性[J]. 中国有色金属学报, 1998 8(2): 201 - 205

作者简介: 晁明举, 男, 1964年 7月出生。博士, 副教授。研究方向为激光热处理、激光熔覆技术、激光与物质的相互作用, 发表论文 30余篇。

Email chaomingju@zsu.edu.cn

of α and γ are refined sufficiently.

Keywords plasma surfacing; magnetic field; hard phase

Study on the temperature rising of stainless steel electrode coating based on uniform design method

MENG Gong ge LU Yun long
ZHAO Mi GU Feng(Harbin University of Science and Technology Harbin 150040 China). p19 – 22

Abstract 28 stainless steel electrodes were studied based on uniform design computer software. 12 coating ingredients were selected as independent variables and each one was divided into 7 levels. The temperature rising of electrode coating is the target function, which was measured with thermocouple and X-Y recording instrument. The mathematic model was given through mathematic statistics. The influences of 12 coating materials on the temperature rising are indicated as follows ① The temperature rising decreases with increasing the content of fluorite or feldspar. ② Some coating ingredients, such as muscovite, ferroferric oxide, white mud, calcite and rutile have mutual influences on the temperature rising, which may be positively or negatively dependent on the relative content of the ingredients.

Keywords stainless steel electrode; coating; temperature rising; uniform design

Effect of different temperature on strength of thermosonic bonding

LONG Zhi li HAN lei WU Yun xia ZHOU Hong quan(College of Electromechanical Engineering, Central South University, Changsha 410083 China). p23 – 26 38

Abstract This investigation is to determine the effect of temperature on bonding strength, impedance and power of PZT transducer in thermosonic bonding process. The results show that too low, less than 60 °C or too high, more than 300 °C temperature can lead to unsuccessful bonding or low bonding strength. A suitable temperature window is 200 °C to 240 °C, which can lead to about 20 g bonding strength. As for the recommended production specification average value 5. 4 g for 25 μ m diameter wire used, the available bonding window is 120 °C to 360 °C. Moreover, for the fixed power setting of PZT transducer, the temperature change can lead to difference in actual power and impedance of PZT transducer. These experiment phenomena and analyses can be used for bonding parameters match and optimization in thermosonic bonding.

Keywords thermosonic bonding process; temperature; bonding strength; impedance of PZT; power of PZT

Effect of In_2O_3 on the properties of laser clad nickel based coatings

CHAO Ming ji YANG Kun YUAN Biao LIANG Er jun(Department of Physics & Key Lab. of Material Physics of Ministry of Education of China Zhengzhou University, Zhengzhou 450052 China). p27 – 30

Abstract A high quality and no crack coatings on a middle carbon steel by laser cladding nickel based alloy powder with a proper addition of In_2O_3 was obtained. The microstructure of clad layers was ana-

lyzed. The microhardness and wearing resistance tests were also conducted. The results indicate that a microhardness distribution in the cross section of clad layers with In_2O_3 is much more uniform and the coatings possess higher wearing resistance compared to that without In_2O_3 , even though the microhardness reduces a little. The improvement of properties of laser clad In_2O_3 -added nickel based coatings can suppress the formation of big and brittle hard phases, improve the dendrites distribution, refine the grains and enhance the toughness of clad layer.

Key words laser cladding; crack; wearing resistance; In_2O_3

Microstructure of laser TIG hybrid welding joint of dissimilar metals of Al and Mg

LIU Xu jing LIU Lin ing WANG Heng SONG Gang(State Key Laboratory of Material Surface Modification by Laser Ion and Electronic Beams, Dalian University of Technology, Dalian 116023 China). p31 – 34

Abstract TIG and laser TIG hybrid welding techniques have been used to study the weldability of dissimilar alloys of Al-6061 to Mg-AZ31B. The welded samples were analyzed by metallographic techniques using both optical and scanning microscopy in combination with a X-ray diffraction instrument. It was found that the TIG welding could not make the joint of the dissimilar alloys due to the continuous Mg and Al intermetallic compounds. But the laser TIG hybrid welding improved the weldability because of its high welding speed and fast stir by laser and arc, which make the continuous intermetallic compounds on the interface of Mg and changed into dispersive form. The weld appearance of laser TIG hybrid welding is uniform.

Key word laser TIG hybrid welding; magnesium; aluminum; dissimilar metal

Dynamics of AF transformation in weld metal of microalloyed steels

YUN Shao hu^{1, 2}, ZHANG De qin², TIAN Zhi ling³, DU Ze yu¹
(1. School of Materials Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072; 2. Department of Materials Science and Engineering, Jinjiang University, Jinjiang 332005; 3. Central Iron Steel Research Institute, Beijing 100081 China). p35 – 38

Abstract The starting and finishing temperature of Acicular Ferrite (AF) in weld metal of microalloyed steels for different heat input have been measured by using the thermal expanding method. The curves of transformation have also been plotted. The temperature range of AF transformation is between 668 °C and 541 °C. The $T-t_f$ dynamics curves of AF transformation have been established based on the thermal simulating data and quantitative microstructure tests. The common rules of AF transformation in weld metal of microalloyed steels have been obtained by analyzing the dynamics curves.

Key words acicular ferrite; dynamics; weld metal; microalloyed steels

Behavior of arc in Ar-He Gases tungsten arc welding with high Cur