

无活性剂的焊丝焊后得到的焊缝熔深比,由图可见氯化物对熔深的增加效果最明显,氧化物和氟化物效果远不及氯化物。其中 NiCl_2 的效果最佳,它使得熔深较同参数下不加活性剂的情况增加 300% 以上,其次增加熔深效果较为明显的是 CdCl_2 ,其余活

性剂有的效果不明显,有的甚至使熔深变浅。图 2 是采用无活性剂和涂敷 NiCl_2 , CdCl_2 , ZnCl_2 三种活性剂的焊丝,焊后得到的焊缝横截面宏观形貌。从图 2 中也能直观地发现活性剂在增加焊接熔深方面的明显作用。

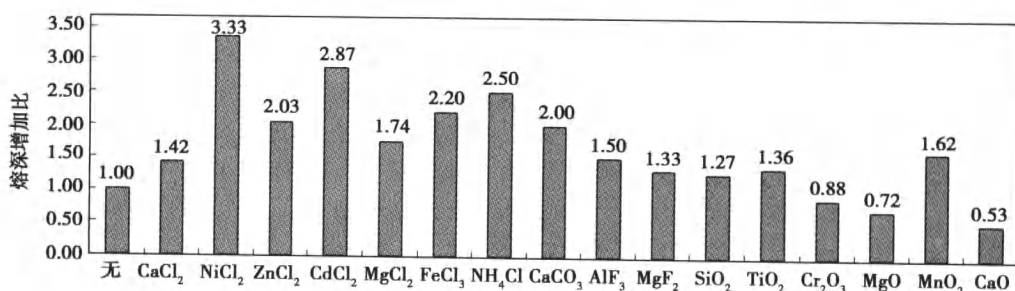


图 1 各种活性剂焊后熔深比

Fig. 1 Effects of different fluxes on weld penetration increase ratio

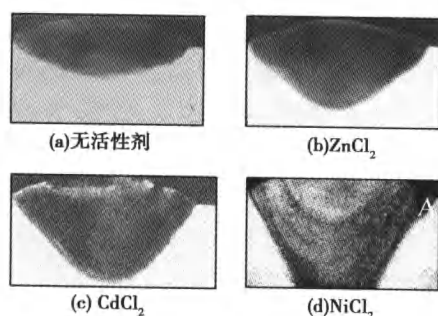


图 2 焊缝横截面宏观形貌

Fig. 2 Weld cross-sections photo

2.2 活性剂对焊丝填丝性能的影响

图 3 是几张有代表性的焊缝成形形貌的照片。可见用涂有活性剂(无论是氯化物、氟化物还是氧化物)的焊丝进行试验后,得到的焊缝的成形质量与无活性剂的情况相比都有所降低。三类活性剂中氧化物对焊缝成形质量造成的降低现象最严重且焊缝表面有残存氧化物熔渣,涂有氯化物的焊丝焊接得到的焊缝成形较为连续但有咬边现象。

没有涂敷活性剂的焊丝熔化后的熔滴很容易连续且平稳地过渡到熔池中,所以形成的焊缝均匀、规则,外形美观。涂敷活性剂后,填丝过程中活性剂发生分解,分解后的活性元素偏聚到熔滴表面,这样就造成了熔滴的表面张力与熔池金属表面张力存在一定的差异,这种表面张力差使得熔滴与熔池金属的融合能力变差,从而造成熔滴过渡不平稳,焊缝成形质量变差,图 3 中以 MgO 为活性剂的焊丝焊后得到的焊缝形貌就充分说明这一点。由此可见活性剂的加入使得焊丝的填丝性能有所降低,其中氧化物活

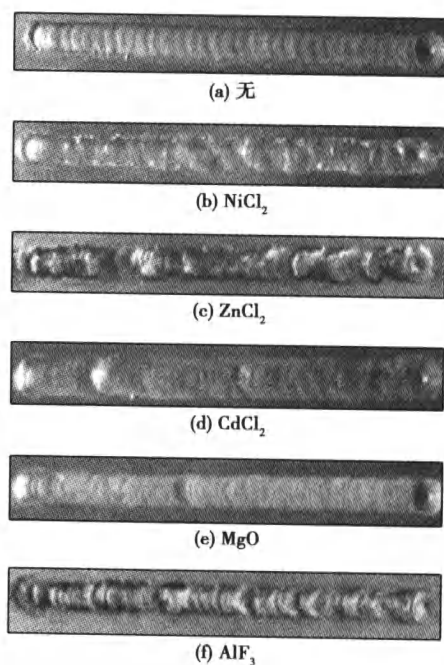


图 3 不同成分活性剂对焊缝成形的影响

Fig. 3 Effects of different fluxes on appearance of weld

性剂的影响最为明显。

2.3 活性剂对焊缝组织性能的影响

在相同工艺参数下(焊接电流 100 A, 焊接速度 440 mm/min)进行试验时,采用涂有活性剂的焊丝焊接得到的焊缝热影响区比采用普通焊丝的情况变宽。如图 4a 为采用普通焊丝焊接得到的焊缝熔合区组织照片,图 4b 为采用涂敷有 NiCl_2 的焊丝焊接得到的焊缝熔合区组织照片。热影响区变宽的原因是:活性剂的加入使得焊接热输入量较无活性剂的

情况有所增加^[4]。

同样工艺参数下,活性剂的加入使得焊缝热影响区变宽,组织粗大。宽的热影响区和粗大的热影响区组织,必然会给焊接接头性能带来不良影响。为了验证这种活性焊丝的可行性,设计了如下试验,在其它焊接参数与上试验相同的条件下改变焊接电流,分别采用无活性剂(焊接电流 $I = 60\text{ A}$)和涂有 NiCl_2 (焊接电流 $I = 50\text{ A}$)的焊丝将 2.5 mm 厚的 AZ31B 镁合金板焊透,获得相同熔深的焊缝,焊接接头的组织如图 4c 和图 4d 所示。图 4c 是使用无活性剂的焊丝在焊接电流为 60 A 的情况下得到的焊缝熔合区组织照片,图 4d 为使用涂有 NiCl_2 的焊丝在焊接电流为 50 A 的情况下得到的焊缝熔合区照片。由这两张照片可见,在要求获得相同熔深的情况之下,采用无活性剂和涂有 NiCl_2 的焊丝进行焊接,最终得到的焊缝热影响区宽度基本没有差别,热影响区晶粒大小也差别不大;采用涂有活性剂焊丝焊接将显著增加熔深和减少焊接次数。

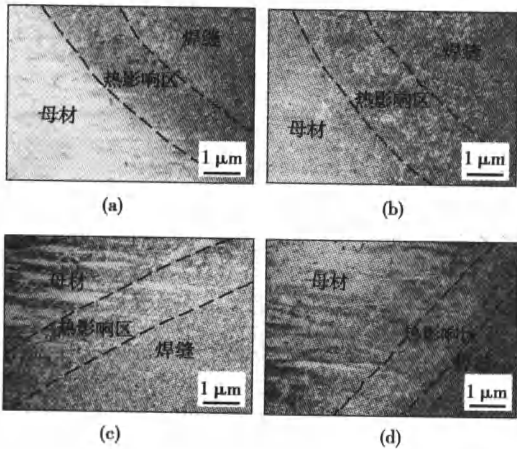


图 4 焊接接头组织
Fig.4 Microstructure of welded joint

对不同工艺条件下得到的焊接接头进行拉伸性能试验,试验结果见表 2。由表 2 可知,在选择相同参数进行试验时涂有 NiCl_2 的焊丝得到接头的抗拉强度可达到无活性剂情况的 95%;在要求获得相同

表 2 不同条件下焊接接头抗拉强度(MPa)
Table 2 Tensile-strength of weld joint in different technological condition

母材 MPa	同焊接参数 ($I = 100\text{ A}$)		同焊接熔深($H = 2.5\text{ mm}$)	
	无活性剂	NiCl_2	无活性剂($I = 60\text{ A}$)	NiCl_2 ($I = 50\text{ A}$)
259	249	237	255	252

熔深时涂有 NiCl_2 的焊丝得到的接头的抗拉强度可达到无活性剂情况的 98%。由此可见,活性剂的加入虽然会对焊接接头的抗拉强度有所弱化,但这种影响与其带来的焊缝熔深增加,生产效率提高等优点相比是微不足道的,甚至是可以忽略的。

3 讨 论

A-TIG 增加熔深的原理主要有:表面张力理论和活性剂改变电弧形态理论^[5]。在试验中,活性剂是涂敷于焊丝表面,这与传统的将活性剂涂在待焊试板表面不同。将活性剂直接涂敷在待焊板面上时,在熔池形成的同时活性剂便添加到了熔池中,从而可能对熔池金属的流动方式产生影响。在不填丝的情况下,熔池金属流动没有外界干扰,熔池金属的流动方式只在活性物质的作用下发生改变。由此在不填丝情况下,表面张力理论便很好的解释了 A-TIG 焊时熔深增加现象。

试验中,活性剂是与焊丝熔滴一同过渡到熔池中去的,也就是说,活性剂是在熔池已经形成之后才进入熔池的。从而要求活性物质在熔池存在的极短时间之内偏聚到熔融金属表面(主要指熔池熔合线处),并且改变熔池金属流动方向是几乎不可能的。图 5 是对焊缝横截面熔合线附近区域(图 2 中 A 区域附近)进行面扫描,得到的 Cl 元素的分布图。由图中可见,在焊缝熔合线上并没有 Cl 元素的偏聚现象发生,而是均匀的分布于焊缝当中。由表面张力理论可知,只有表面活性元素偏聚到熔化金属表面才能使金属的表面张力变小,进而产生表面张力流。由此说明不可能是因为 Cl 元素改变熔池金属流动方式而使熔深增加的。

图 6 给出了部分金属元素对 Mg 表面张力的影响曲线^[6]。图中可见 Ni, Zn 元素存在对 Mg 的表面

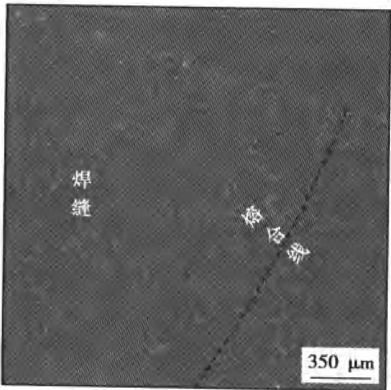


图 5 熔合区 Cl 元素分布
Fig.5 Distribution of Cl in weld

张力基本无影响;Mn 元素的存在反而增加了 Mg 的表面张力。但是由图 1 可知 NiCl_2 , ZnCl_2 正是增加熔深效果最为明显的活性剂, MnO_2 也对熔深增加产生了一定的影响。由此可知试验中,并不是表面张力的改变使熔深产生了增加。

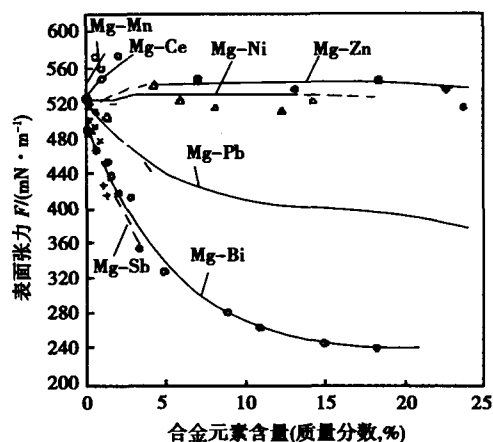


图 6 部分元素对镁表面张力的影响

Fig.6 Effects of some elements on surface tension of magnesium

活性剂改变电弧形态理论认为,活性剂在电弧的作用下发生分解,在电弧的外围区域,活性剂分解为金属原子和非金属原子。电负性较大的非金属元素原子能吸附电弧外围温度较低处的电子,形成阴离子,而阴离子的导电能力远小于电子,根据最小电压原理,电弧将自动调整弧柱直径以达到新的平衡,即电弧等离子体直径缩小,产生阳极斑点收缩。电弧的收缩使得阳极斑点的电流密度增加,表现为阳极斑点变得格外明亮。大的电流密度在带来大的焊接热输入的同时,也使得阳极斑点压力有一定的提高,从而使得焊缝熔深增加^[7]。

在试验中发现,沸点不高于镁合金沸点的活性剂对镁合金 A-TIG 焊接熔深的增加效果比较明显。为了进一步揭示活性剂稳定性与相应的熔深增加比之间的关系,以图 1 为基础用 matlab 拟合得到了一条活性剂沸点与熔深比的关系曲线,如图 7 所示。图中曲线定性的给出了活性剂分解温度与相应的熔深增加比之间的对应关系。由曲线可见沸点在 900 °C 附近的活性剂对镁合金 A-TIG 焊接的熔深增加效果最佳。原因在于活性剂能够改变焊接电弧形态的前提是其分解为原子态,而活性剂又是附着在填充金属表面被添加到电弧中加热的,在焊接过程中,熔滴的温度最高是达到填充金属的沸点附近,由此可见活性剂的分解是否充分与其分解温度是否高过

熔滴温度有着直接关系。如果所选活性剂的分解温度高于熔滴温度较多,那么其分解便不会充分,对熔深增加的作用也就不会明显;如果所选活性剂的分解温度不高于或稍高于熔滴温度,就可以充分分解,从而起到增加熔深的作用。文献[5,8]表明在不锈钢的 A-TIG 焊接中,对熔深增加效果明显的氧化物的分解温度可达 2 000 °C 左右,这是因为不锈钢的沸点温度在 2 000 °C 以上,这时即使分解温度较高的氧化物也是可以充分分解的;对镁合金而言,其沸点温度为 1 107 °C 左右,则在镁合金 A-TIG 焊接过程中要使得活性剂充分分解,那么所选活性剂的沸点必然要低于或与镁合金的沸点相近。试验证明,镁合金 A-TIG 焊接过程中,增加熔深效果最明显的活性剂的分解温度集中在 900 °C 附近。

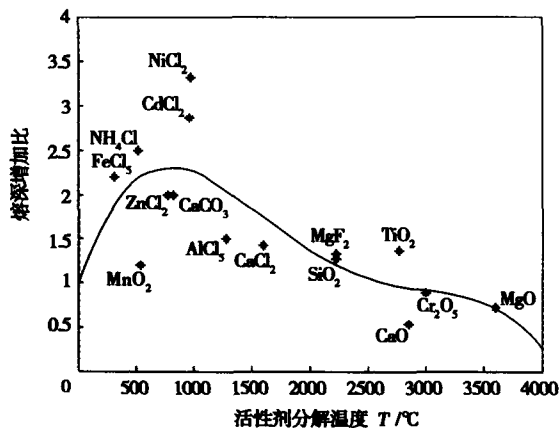


图 7 活性剂沸点与熔深的关系曲线

Fig.7 Relation between weld penetration increase ratio and active agent boiling point

4 结 论

- (1) 采用镁合金活性焊丝进行焊接,能使焊缝熔深较普通焊丝最大增加 300% 以上。
- (2) 活性焊丝的填丝性能较普通焊丝有所恶化,焊缝表面成形质量变差。
- (3) 镁合金活性焊接中选用的活性剂的分解温度不宜超过镁合金的沸点,沸点在 900 °C 左右的活性剂增加熔深的效果较好。

参考文献:

- [1] 金文中,刘顺华,刘黎明,等. AZ61 镁合金焊丝的成形工艺及性能的研究和进展[J]. 上海有色金属, 2004, 25(1): 1-4.

- arc sprayed Fe - Al/Cr - 3C - 2 composite coatings[J]. Journal of Central University of Technology, 2005, 12(3): 259 - 262.
- [4] 宋思利,王新洪,邹增大. TiC增强铁基堆焊层组织与性能的研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2004, 34(2): 1 - 5.
- [5] 陈寒元,邹正光,麦立强. TiC复合材料的研究进展[J]. 粉末冶金工业, 2001, 11(3): 38 - 44.
- [6] Wang xinhong, Song sili, Zou zengda, et al. Development of new type of wear and crack resistant hardfacing electrode[J]. Transactions of Nonferrous Metals of China, 2004, 14(4): 660 - 664.
- [7] 严有为,魏伯康,林汉同. 原位TiC颗粒增强灰铸铁复合材料的组织及摩擦磨损性能[J]. 摩擦学学报, 2003, 23(4): 37 - 41.
- [8] Wang xinhong, Zou zengda. Effect of rare earths on microstructure and properties of TiC - based cermet/Cu alloy composite wear resistant materials[J]. Journal of Rare Earths, 2003, 21(3): 375 - 379.
- [9] 吴玉萍,彭竹琴,林萍华. 等离子原位合成TiC颗粒增强Ni基复合涂层[J]. 材料科学与工艺, 2004, 12(4): 429 - 432.
- [10] 王新洪,张敏,邹增大,等. 激光熔覆TiCp/Ni基合金复合涂层的显微组织与性能[J]. 机械工程学报, 2003, 39(2): 37 - 42.
- [11] 田永生,陈传忠,王德云,等. 激光熔覆生成碳硅钛化合物及其组织性能研究[J]. 中国激光, 2004, 31(7): 879 - 882.
- [12] 赵宇光,蒋启川,任露泉,等. Fe - C - Ti - Mn合金系TiC原位生成反应的热力学分析[J]. 吉林大学学报(工学版), 2004, 123(1): 201 - 205.

作者简介: 宋思利,男,1970年出生,博士研究生,助理研究员。主要从事焊接冶金及金属表面工程方面的科研工作。在国内外期刊发表论文10余篇。

Email: ssl1970@sdu.edu.cn

[上接第32页]

- [2] Froes F H. The Science technology and applications of magnesium[J]. JOM, 1998, (9): 30 - 33.
- [3] 樊丁,黄勇,张瑞华,等. 均匀设计法在铝合金A - TiG活性剂配方研制中的应用[J]. 甘肃工业大学学报, 2003, 29(2): 5 - 7.
- [4] Liming liu, Zhaodong zhang, Gang song, et al. Effect of cadmium chloride flux in active flux TIG welding of magnesium alloy[J]. Materials Transactions, 2006, 47(2): 446 - 449.
- [5] 陈俐,胡伦骥. 活性剂焊接技术的研究[J]. 新技术新工艺, 2005, 4: 39 - 42.
- [6] 刘全坤. 材料成形基本原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [7] Howse D S, Lucas W. Investigation into arc constriction by active fluxes for tungsten inert gas welding[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 2000, 5(3): 189 - 193.
- [8] 任雪婷. 不锈钢单组分活性剂A - TiG焊规范及活性机理的研究[D]. 大连: 大连交通大学, 2004.

作者简介: 刘黎明,男,1967年出生,教授,博士生导师。主要研究方向:焊接新材料及焊接自动化。获省部级发明奖3项,发表论文70余篇。

Email: liulm@dlut.edu.cn