

熔渣的微观组织结构对焊条脱渣的影响

孟庆森 王 宝

(太原工业大学)

摘 要 采用光镜、扫描电镜和 X 射线衍射等手段观察和分析了 $\text{TiO}_2\text{-CaO-SiO}_2$ 系不锈钢焊条熔渣的微观组织形态及特性,结合区域内焊条的脱渣性试验,对比和分析了熔渣的微观组织结构对脱渣性的影响。研究认为,熔渣微观组织的方向性和连续性是影响其脱渣的主要因素;渣中的自由体氧化物和细小交错的羽毛状晶是导致焊缝金属表面产生黑斑粘渣的根本原因。

关键词 熔渣;微观组织;脱渣性

0 序 言

脱渣性是焊条的主要工艺性能之一,它直接影响着焊接质量的控制及焊接效率。一般认为:脱渣性主要受熔渣的热膨胀系数、脱氧性及其渣系碱度的影响^[1];钛型渣的结构较密实且线膨胀系数与碳钢的差别大,故易于脱除;而钙型渣的热膨胀系数与碳钢差别小而不易脱除。作者在研究中发现,任何一种渣系的焊条,都存在着它的最佳脱渣区域及最劣脱渣区域,各渣系脱渣性的影响因素各有特征。这些因素中熔渣的微观组织结构成为影响脱渣性的基本因素。

本文从溶渣的微观组织结构入手,观察和分析了特定渣系中,化学成分对熔渣的影响。确定了 $\text{TiO}_2\text{-CaO-SiO}_2$ 渣系的不锈钢焊条的最佳脱渣区和最劣脱渣区,以指导该类焊条的配方设计。

1 试验方法和试验条件

试验焊条的药皮配方主渣成分 TiO_2 、 CaO 、 SiO_2 三者配比,其余为 Cr 、 Ni 、 Mn 、 Fe 等金属粉;焊芯选用 H0Cr21Ni10 焊丝 $\phi 4.0\text{mm}$,粘结剂为钾钠水玻璃 ($M=2.8$);焊条经 $350^\circ\text{C} \times 2\text{h}$ 烘焙。

焊条的脱渣性试验采用平板堆焊及 60°V 型坡口内堆焊的落锤法试验,试板为 A3 钢 (厚度 = 20mm)。分别测定每种焊条的熔渣脱离能 $Q = PLg/S$ (kgm/cm^2),其中, P —落锤重量 (kg), L —锤心与焊缝表面距离 (m), S —熔渣覆盖面积 (cm^2),试板温度在焊前及落锤前均保证低于 150°C ,焊接电流 $I=150\text{A}$,焊接速度 $V=0.01\text{m/min}$ 。

测试后,收集脱落的渣壳,经研磨和浸蚀后,采用光学显微镜和扫描电镜,观察熔渣的微观组织形态。采用 X 射线能谱分析各相化学成分,用 X 射线衍射组织特征及其对脱渣的影响。

2 熔渣的微观组织形态特征

在本试验渣系区域内,熔渣的微观组织受其化学成分的影响可分为四种类型:Ti 型组织、Ti-Ca 型组织,Ca 型组织和自由体氧化物。各种组织的形态受化学元素影响又分为若干种。这些具有不同形态特征的组织对熔渣的物理性能及脱渣性具有重要影响。

2.1 Ti 型组织

如图 1 所示,Ti 组织主要分布于 I 区,含 Ti 量大于 45%~60%,按照含 Ti 量不同可分为板条或棒状组织,枝状组织两类。

2.1.1 板条和棒状组织

白色棒条成束状沿焊缝纵向生长,尺寸为 0.1~0.2mm(图 2)。分析结果为 Cr_2TiO_5 ,随着其含量的增加,渣体密实度和熔点增高,透气性降低,但有利于平面堆焊脱渣性。

2.1.2 树枝状晶

随着含 Ti 量降低和含 Ca、Si 量增加,棒状组织减少,树枝状组织增多,该组织主要分布在 II 区。含 Ti 量低于 20%~15%,枝状晶尺寸减小,呈鱼骨状(<20nm),该类渣壳密实度下降,脱渣性较好。

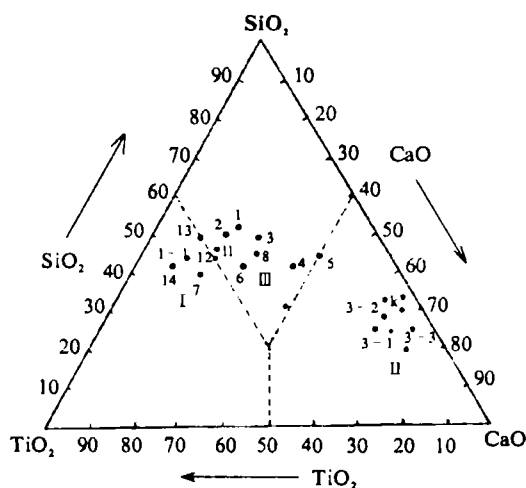


图 1 TiO_2 -CaO- SiO_2 系焊条脱渣性示意图
Fig.1 Region of good slag detachability in TiO_2 -CaO- SiO_2 system

2.2 Ti-Ca 型组织

在 II 区域中(Ti 15%~25%, Ca 10%~20%)枝晶尺寸减少,连续性变差,并伴随小段细枝,羽毛状晶体。这些细晶组织交叉生长,或成网状,针状 CaSiO_2 与之交错分布(图 3),组织整体方向性和连续性较差,脱渣性较差。

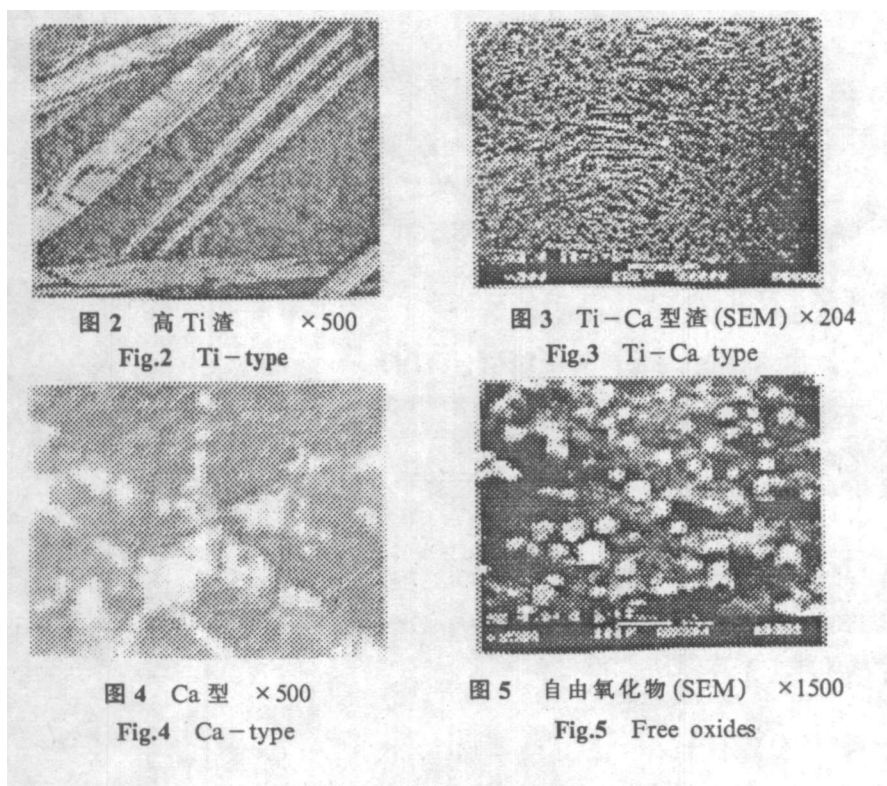
2.3 Ca 型组织

当渣中含钙量大于 40% 时(III 区)枝状晶完全消失,出现白色的竹节段状等轴晶,晶截面为十字状,且有一定方向性,分析结果为 Ca_2SiO_4 (图 4)。Ca 型组织的含量有利于渣的疏松度及脱落,是碱性焊条的一种理想渣态组织。

2.4 尖角状自由体

Ti-Ca 型渣和 Ca 型渣中氧化物含量增加,会出现一些灰色、尖角形的块状自由体,

经分析为含氧化铁的尖晶石。这些氧化物有时孤立存在,有时四周呈网状连结(图5),脱渣性差,易使焊缝金属表面形成黑斑粘渣。



3 影响脱渣性主要因素

由脱渣性试验结果可知,本试验渣系中,I区和II区为最优脱渣区,棒状组织,枝状组织或连续的十字状组织,均有利于渣壳的脱落,而细碎的晶体自由氧化物都不利于渣与焊缝金属的分离。综合测试结果,影响熔渣脱落的因素主要分为力学因素和化学因素。

3.1 束状晶体所产生的纵向拘束应力

试验表明,脱渣性主要受熔渣微观组织的影响。枝状晶尺寸较大的组织和方向性较强的组织有利于熔渣的脱落,含棒状晶束,或枝晶束的渣脱渣性较好,比脱渣功 Q 较低,渣横向开裂总量 N 值较高;而含细小羽毛状或网状渣的比脱渣功 Q 较高,渣不易自行开裂,含自由体渣 Q 值最高。由此可知,力学因素是影响固态熔渣脱离金属的主要因素。

一般认为,熔渣的线膨胀系数和密实度是脱渣性的主要物理因素^[1],Ti型渣的脱渣性试验已证实这一认识。

熔渣的凝固过程与焊缝金属某些凝固特点相似,其结晶方向垂直于等温线,晶向沿焊接方向指向焊缝中心(图6)。

束状棒晶或枝晶强化了固态渣纵向的连接。当焊缝冷却时,由于渣的散热速度较焊

缝金属慢,且结晶终了温度较低,焊缝冷却过程后期,熔渣易产生较大纵向拘束力,而产生横向断裂。试验结果表明,渣内的束状晶含量越多,凝固时产生的横向裂纹越多。

同时,由于熔渣与金属间的线膨胀系数的差异使固态渣壳易于剥离焊缝金属,但 Ti-Ca 型渣和 Ca 型渣的脱渣试验表明,当线膨胀系数差较小时,熔渣中束状晶含量成为其脱渣性的主要影响因素。

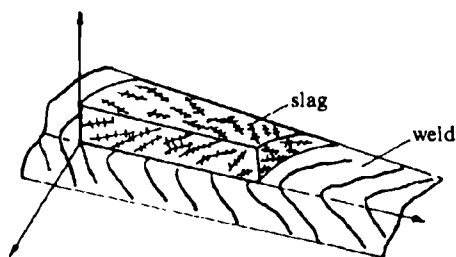


图 6 熔渣微观组织的晶向示意

Fig.6 Direction of microstructures of slag

3.2 Ca 型渣凝固时的相变应力

如前所述,Ca 型渣的微观组织主要为断续的十字状晶,方向性不如 Ti 型渣强,加之渣的线膨胀系数与金属相近,故使脱渣性降低,这是大多数碱性渣脱渣难的主要原因之一。但试验表明,在 II 区内的渣可表现出较优良的脱渣性能,甚至在坡口内多层焊时仍保持较低 Q 值。

由 $\text{TiO}_2-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 渣系图知,该区域内熔渣凝固时经历两个相区 $3\text{CS} \rightarrow 2\text{CS}$ (温度 $1800^\circ\text{C} - 1100^\circ\text{C}$) 由高温 β 相向低温 α 相转变^[2],组织结构的变化产生的体积的变化约 12%,在相变结束后的较低的温度下使渣层纵向产生较大的应力^[3],而致使渣壳自行开裂和剥离。同时, Ca_2SiO_4 组织的连续性和方向性也对脱渣产生作用,十字晶的含量多、晶枝长时,脱渣性较好。

3.3 化学因素的影响

试验表明,III 区域内脱渣性较差主要表现为焊缝金属表现的黑斑粘连或丝状粘连。SEDAX 分析结果表明,这些粘连物主要为 $(\text{Mn}, \text{Cr})_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO}$ 等自由氧化物和尖晶石氧化物。该区域内,随着 SiO_2 含量的增多及渣氧化性增强,若药皮中加入较多量的铁合金,易在渣壳与焊缝金属之间生成游离氧化物(团状、片状)。这些氧化物在金属表面滞留且与金属晶格搭接在一起,形成一层难以清除的粘连。

此外,III 区内渣的组织枝晶较细小,且交叉分布,方向性差,渣体较疏松,也是渣易产生粘连的主要原因。这些交错的结晶体在熔渣凝固时所产生的拘束力方向分散,不能促使氧化物自由体的剥离。试验表明在该区域内,增强渣的组织方向性,(增 Ti 或增 Cr)或减小渣氧化性是避免焊缝表面产生粘渣的有效途径。当药皮中加较多铁合金时,这一点尤为重要。

4 结论

(1)在 $\text{TiO}_2-\text{CaO}-\text{SiO}_2$ 渣系内,I 区和 II 区为优脱渣区。高 Ti 型和高 Ca 型渣区具有较强的脱渣适应性。

(2)熔渣组织的微观结构是影响脱渣性的主要因素。方向性和连续性较强的棒状、枝

状晶增强渣的密实度,凝固时使渣层内产生较大的拘束应力,利于脱渣。而细小,交错的羽毛晶、针状晶方向性差,不利于脱渣;增加十字状等轴晶的含量及其连续性,是改善碱性渣脱渣性的主要途径。

(3) III 区焊缝金属表面的丝状或固状粘连物主要是尖晶石氧化物和游离氧化铁,改善渣的微观组织结构及减弱渣的氧化性是防止这类粘渣的主要途径。

(1993 年 4 月 25 日收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 张文钺.金属熔焊原理及工艺(上),北京:机械工业出版社,1980,208~209
- 2 炼钢常用数据手册,北京:冶金工业出版社,1980,155~157
- 3 I K Pokhodnya. The interaction of molten slag with weld pool metal and the peculiarities of the slag crust adhesion mechanism. Welding pool chem. and metal. London, 1980, 15~17

Influence of microstructural appearances of slag on detachability of electrode

Meng Qinseng , Wan Bao

(Taiyuan University of Technology)

Abstract The microstructural appearances of the slag of stainless steel electrode and their influence on slag detachability have been studied by means of SEM., XRD. and optical microscope. It has been known that the directionality and continuity of microstructural appearances of the slags are important factors of slag detaching; the free oxides and the fine crisscross structures are mainly cause of the slag adhesion on the weld.

Key words slag; microstructure; detachability