

TiC - VC 免预热耐磨堆焊焊条

王新洪¹, 邹增大¹, 宋思利², 曲仕尧¹

(1. 山东大学 材料科学与工程学院, 济南 250061; 2. 山东大学 产业处, 济南 250061)

摘 要: 采用 H08A 焊芯, 钛铁、钒铁、人造金红石和石墨等药皮组分, 研制了新型耐磨、免预热堆焊焊条。通过扫描电镜 (SEM)、能谱分析 (EDAX)、磨粒磨损试验、焊条工艺性能试验以及硬度测试, 系统地研究了焊条药皮组分对堆焊层耐磨性、抗裂性、工艺性能及堆焊层组织结构的影响。试验结果表明, 通过电弧高温冶金反应, 药皮中 Fe - Ti、Fe - V 与石墨反应生成 TiC、VC 硬质相, 并弥散分布于低碳马氏体 + 残余奥氏体的基体上, 堆焊层具有良好的耐磨性和抗裂性, 焊前不预热, 连续堆焊堆焊层不产生裂纹。Fe - Ti、Fe - V 与石墨的加入量对堆焊层耐磨性、硬度以及工艺性能影响很大, 随着钛铁、钒铁、石墨量增加, 堆焊层硬度、耐磨性增加。但药皮中钛铁超过 18% 后焊条工艺性能变差, 石墨超过 12% 后, 堆焊层耐磨性降低。

关键词: 堆焊焊条; 免预热; 抗裂; TiC - VC

中图分类号: TG422.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253 - 360X(2002)04 - 31 - 04



王新洪

0 序 言

冶金、矿山、水泥、机械等行业粉碎物料的挤压辊受到物料的磨粒磨损、碾压交变应力的作用, 辊面磨损十分严重, 造成巨大的经济损失。为了提高挤压辊的使用寿命, 需要在辊面熔敷一层具有高硬度、高耐磨性和一定抗冲击性能的堆焊层。国内外的焊接工作者经过多年的努力, 通过多种工艺方法发展了耐磨堆焊技术, 已研制出 40 多个系列 60 多种牌号的耐磨堆焊焊条, 如日本的 HF - 950、美国的 Faceweld12、瑞典的 OKE4 - 60S、中国的 D667、D618 等, 这些成果大幅度提高构件的综合技术指标, 提高了构件的使用寿命, 同时节省了大量贵重金属。这些堆焊焊条基本上是通过 C、Cr、W 合金形成高碳高硬度的莱氏体、马氏体基体和 Cr_xC_y、WC 硬质相, 虽然在硬度方面能满足使用要求, 但当硬度 ≥ 40 HRC 时, 其抗裂性变差, 为了防止产生裂纹, 均要求焊前将工件预热 300 ~ 600 °C, 这不仅严重恶化劳动条件, 而且还显著地提高成本^[1-3]。此外, 由于这些硬质点颗粒大、脆性大, 特别是与铁的结合强度低, 在堆焊和磨损过程中常因大块的硬质点脆裂和脱落, 而导致堆焊层失效, 直接影响到耐磨堆焊焊条的推广应用^[4,5]。因此迫切需要研制一种硬度高, 耐磨性好, 焊前不预热且不产生裂纹, 焊后不需热处理, 堆焊层抗脱落能力强的耐磨堆焊焊条。

1 试验材料及方法

为了保证堆焊焊条具有高的耐磨性、良好工艺性、抗裂性和冶金性, 焊芯材料选用 H08A, 采用 TiO₂ - CaO - CaF₂ 渣系。药皮材料中的主要成分为人造金红石、FeTi30A、FeV30A、石墨、大理石、钛白粉、CaF₂ 等。利用电弧高温冶金反应, 形成高硬度的 TiC、VC 硬质点弥散分布在低碳马氏体 + 残余奥氏体的基体上。按一次回归正交试验方法优化设计药皮组分, 考察药皮组分对堆焊层硬度和耐磨性的影响。

根据 GB 984 - 85 规定的试验方法将堆焊焊条熔敷到 Q235 母材上。每个试件堆焊四层, 在第四层上采用 HR - 150 A 型洛氏硬度计测试硬度。磨损试验在 MSL - 23 型磨粒磨损试验机上进行, 试样尺寸为 57 mm × 26 mm × 8 mm, 试验条件为载荷 40 N, 转速 240 r/min, 磨损时间 1 h, 磨粒采用 50 ~ 70 目石英砂 (硬度为 1 000 ~ 1 100 HV), 利用试样失重法来评定堆焊层耐磨性。

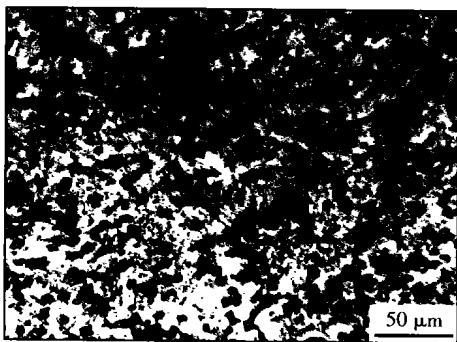
利用 JXA - 840 型扫描电镜分析堆焊层显微组织。在 D/max - RC 型 X 射线衍射仪上分析了堆焊层相结构。采用 EDAX 能谱对碳化物进行成分分析。

2 试验结果及分析

2.1 堆焊层 TiC、VC 的形成与分布

通过扫描电镜观察, 在堆焊层上可看到呈菱形

状的碳化物颗粒(见图 1a)弥散分布在马氏体和残余奥氏体的基体上(图 1b)。利用 EDAX 能谱对这些碳化物进行定点分析,发现碳化物主要是富 Ti、V 相(图 2)。图 3 为堆焊层 X 射线衍射谱图。由图可见,堆焊层的相结构主要是由具有高硬度、高耐磨性的 TiC、VC 以及残余奥氏体和 Fe₃C 组成。TiC、VC 的形成主要是通过药皮中的 Fe - Ti、Fe - V 与石墨,通过电弧高温冶金反应形成 TiC、VC 碳化物颗粒。而在熔池反应阶段温度低,相接触面积小,C、Ti、V 原子的扩散速度小,生成的 TiC、VC 很少,因此在熔池反应阶段主要进行 TiC、VC 通过熔渣和熔敷金属之间所发生的扩散与再分配。



(a) Morphology of TiC, VC particles

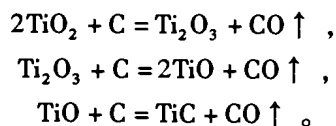


(b) Morphology of lath martensite and retained austenite

图 1 堆焊层组织形貌

Fig. 1 SEM morphology of deposited metal

此外,药皮中的 TiO₂ 也与石墨通过电弧冶金反应生成 TiC。图 4 为药皮中不含 Fe - Ti、Fe - V 时,只加入 10% 石墨,50% 人造金红石,在扫描电镜下观察到菱形碳化物组织形貌。由 EDAX 定点分析可知,碳化物主要是富 Ti 相,表明 TiO₂ 与石墨在高温下相互作用生成 TiC。通过热力学分析,可知该反应分三个阶段进行



(a) Line distribution of V element



(b) Face distribution of Ti element

图 2 碳化物 EDAX 能谱分析
Fig. 2 EDAX analysis of carbide

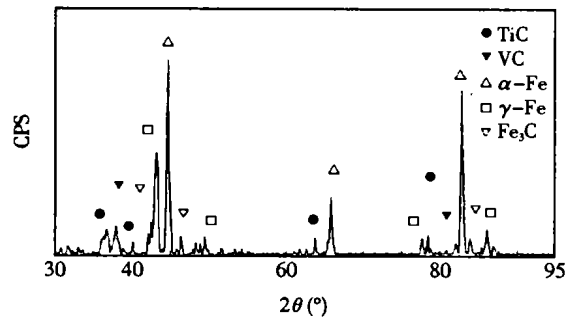


图 3 堆焊层 X 射线谱图

Fig. 3 X-ray diffraction pattern of hardfacing layer

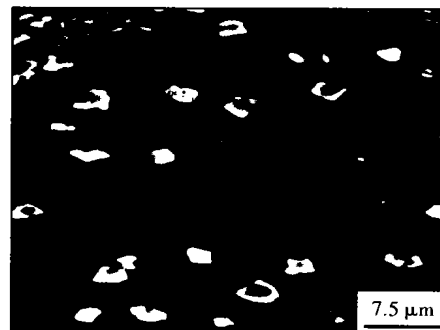


图 4 TiO₂ 与石墨生成 TiC 组织形貌

Fig. 4 Microstructure of TiC in hardfacing layer

反应温度通常在 2 200 ~ 2 400 °C 之间进行,这正是焊接电弧所能达到的温度。因此提高药皮中 TiO₂ 的含量也能在一定程度上提高 TiC 的生成量。

2.2 药皮组分加入量对焊条工艺性及堆焊层硬度、耐磨性的影响

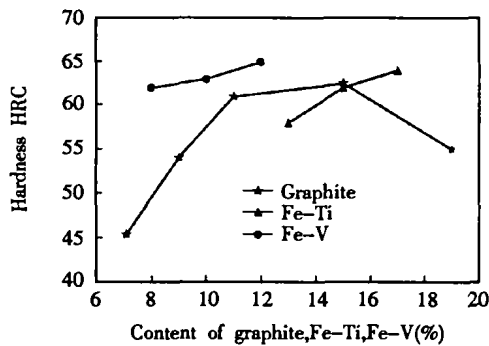
2.2.1 药皮组分加入量对焊条工艺性能的影响

Fe-Ti 加入量 10% 以下时对焊条工艺性能没有明显的影响。当继续增加 Fe-Ti 时,熔渣粘度和表面张力增加,熔渣变硬,脱渣困难。而且 Fe-Ti 多到一定量时,熔渣与熔敷金属交混在一起,无法进行正常焊接。产生这种现象的主要原因是由于高温反应生成的 TiC 颗粒,其熔点为 3 147 °C,部分进入熔渣,随着高熔点 TiC 量的增加,熔渣的粘度急剧升高,流动性变差,恶化了焊缝成形。

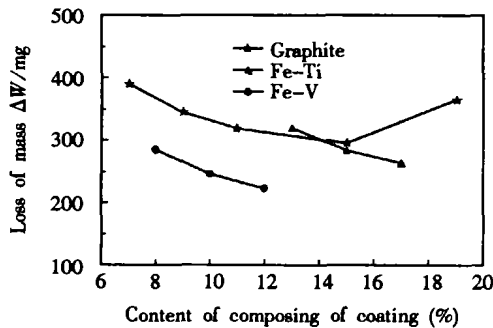
而 Fe-V 的加入使熔渣的熔点明显降低,焊条工艺性能得到改善,这不仅由于冶金反应生成 VC 与 TiC 聚集形成低熔点的复合物碳化物,同时高温生成的 TiO₂ 和 V₂O₃、V₂O₅ 形成低熔点的复合物使熔渣的熔点降低。

2.2.2 药皮组分加入量对堆焊层硬度及耐磨性的影响

图 5a、b 分别为石墨、Fe-Ti、Fe-V 加入量对堆焊层硬度和耐磨性的影响。由图可以看出,随着



(a) Effect of content of composing on the hardness



(b) Effect of composing on wear resistance

图 5 药皮组分对堆焊层硬度及耐磨性的影响
Fig.5 Effect of coating composition on hardness and wear resistance of hardfaing layer

Fe-Ti、Fe-V 加入量的增加,堆焊层硬度增加,耐磨性也相应增加,但随着石墨加入量的增加,堆焊层的硬度、耐磨性增加,当加入量超过 18% 后,堆焊层的硬度和耐磨性随着石墨加入量的增加而急剧下降。这主要是由于 Fe-Ti 和 Fe-V 的增加,堆焊层中经电弧冶金反应形成的 TiC、VC 的含量增加,因此堆焊层的硬度和耐磨性也随之提高。而石墨加入量的增加,堆焊层一方面增加了石墨与 Fe-Ti、Fe-V 反应形成 TiC、VC 和碳的固溶强化(低碳马氏体的形成)而使硬度和耐磨性提高;另一方面碳是强化奥氏体元素,随着石墨量增加,残余奥氏体量增加,反而使基体的硬度降低,从而导致耐磨性下降。

综合考虑既保证熔敷金属中 TiC、VC 硬质点的量,又兼顾焊条的工艺性能,通过正交优化试验,焊条药皮中加入(15% ~ 18%) Fe-Ti、(10% ~ 12%) Fe-V、(8% ~ 12%) 石墨和(38% ~ 42%) 人造金红石。

2.3 堆焊层的耐磨性与抗裂性

2.3.1 堆焊层耐磨性

图 6 为所研制的耐磨堆焊焊条(XM-1)与常规堆焊焊条 D667、D618 的磨粒磨损对比试验结果。由图可见,XM-1 堆焊层耐磨性是 D667 堆焊层耐磨性的 2.3 倍,为 D618 的 2 倍。

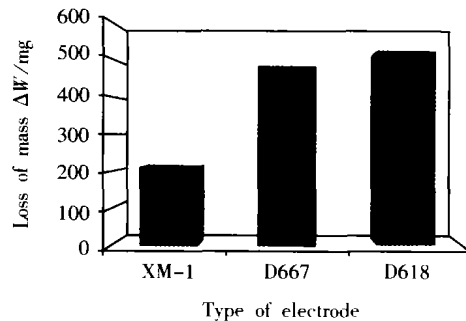


图 6 堆焊层耐磨性对比

Fig.6 Wear resistance of XM-1 electrode compared with D667, D618 electrode

由于 D667 堆焊层主要靠 Cr₇C₃ (1 665 HV) 等碳化物硬质相增强,其硬度比 TiC (3 200 HV)、VC (2 800 HV) 低,而且颗粒大、脆,磨损过程中易破碎脱落。而 TiC、VC 不仅具有高的硬度,与基体的结合力大,并且碳化物颗粒弥散分布于基体,碳化物间间距小,对基体割离作用小,有利于耐磨性提高。此外,塑性好的低碳马氏体能有效地支撑镶嵌在其中的碳化物颗粒,当在外力作用下碳化物周围产生位错增殖,阻碍碳化物滑移,延缓碳化物剥落,因此, TiC-VC 堆焊焊条具有高耐磨性。

2.3.2 抗裂性试验

抗裂性对比试验是在相同工艺条件下进行,对比焊条采用 D667、D618。母材选用 Q235 低碳钢,厚度为 20 mm,试板不预热连续堆焊三层,通过着色检验和磁粉探伤观察焊道上裂纹的数量。试验结果表明,D667、D618 焊条堆焊层表面存在大量的宏观裂纹,而新研制的 XM-1 型焊条在焊道上未发现裂纹。TiC-VC 堆焊焊条具有高抗裂性主要是由于堆焊层基体为低碳马氏体和残余奥氏体,具有高的塑性和韧性;同时 TiC、VC 在电弧反应阶段形成,在熔池凝固过程中可以作为非均质形核的核心,细化基体组织,有效地阻止微裂纹的形成和扩展。此外,碳化物极弥散分布,而且 TiC、VC 颗粒与基体铁的结合力强,能有效地阻止微裂纹扩展,进一步促进堆焊层的抗裂纹能力。

2.3.3 工业应用情况

新研制的堆焊焊条已由潍坊焊条厂进行批量生产。通过几年的工业生产应用,实践结果表明新研制的 TiC-VC 堆焊焊条,其耐磨性和抗裂性均优于现用的堆焊焊条,工艺性能良好,电弧稳定燃烧,再引弧性能好,可交直流两用,可采用长弧焊接,可以不清渣连续堆焊。从淄博水泥厂、蓬莱电力机械厂等单位实际使用效果看, XM-1 堆焊焊条具有很高的耐磨性,取得了显著的经济效益和社会效益。

通过现场采用 TiC-VC 堆焊焊条(XM-1)堆焊的螺旋压涂机绞刀与 D618 堆焊焊条堆焊的绞刀连续涂压焊条量对比结果,D618 堆焊的绞刀仅能生产焊条约 50 t,而 XM-1 堆焊的绞刀能连续生产 100~120 t,尤其是 D618 堆焊的绞刀上存在大量裂纹,裂纹在涂压焊条过程中扩展引起断轴。表明 XM-1 堆焊焊条不仅具有高的耐磨性,而且具有良好的抗裂性。

3 结 论

(1) 采用正交试验优化设计方法研制的 TiC、VC 耐磨堆焊焊条,具有易引弧,电弧稳定燃烧,飞

溅小,脱渣性好的工艺性能,不预热连续堆焊堆焊层不产生裂纹和剥离。

(2) 通过电弧高温冶金反应形成 TiC、VC 颗粒,弥散分布在低碳马氏体+残余奥氏体的基体上,熔敷金属具有很高的硬度,耐磨性是 D667、D618 的 2 倍以上。

(3) 药皮组分及加入量对堆焊焊条的工艺性、耐磨性具有很大的影响。随药皮中 Fe-Ti 加入量的增加,堆焊层硬度、耐磨性增加,但工艺性能变差,焊缝成形恶化。石墨加入量增加时,初始阶段,堆焊层硬度、耐磨性增加,当石墨量超过 18% 后,堆焊层耐磨性反而降低。优化设计后焊条药皮中加入(15%~18%)Fe-Ti、(10%~12%)Fe-V、(8%~12%)石墨和(38%~42%)人造金红石时,堆焊焊条工艺性能较好,堆焊层具有高的耐磨性、良好的抗裂性。

(4) 经工业试验证明,研制的 TiC-VC 免预热堆焊焊条具有较好的生产使用效果,明显提高堆焊修复工件的使用寿命,具有显著的经济效益和社会效益。

参考文献:

- [1] Ogborn J S, Kotechi D J. Abrasion resistance of iron-based hard-facing alloy [J]. *Welding Journal*, 1995, 74(8): 269~278.
- [2] 赵成章. 硬质耐磨堆焊材料及其硬质相[J]. *焊接*, 1986, (8): 1~5.
- [3] Mayer A C. How to select hardsurfacing materials [J]. *Welding Design and Fabrication*, 1982, 55(10): 61~65.
- [4] 王爱珍. 冷堆焊高硬度耐磨复合合金[J]. *焊接学报*, 2000, 21(3): 62~65.
- [5] 刘政军, 季杰, 郝雪枫. 铁基高温耐磨堆焊焊条的研究[J]. *沈阳工业大学学报*, 1995, 17(12): 35~38.

作者简介: 王新洪,男,1969 年出生,工学博士,讲师。主要从事焊接冶金、耐磨堆焊材料的研究。获山东省科技进步二等奖 1 项,发表论文 15 篇。

Email: xinhongwang@yahoo.com