

生产与应用

D227、D237 焊条堆焊金属组织及 显微硬度研究

章友谊¹, 杨跃¹, 屈金山²

(1.四川工程职业技术学院, 四川 德阳 618000; 2.西华大学, 四川 成都 610039)

摘要:分别采用 D227 和 D237 两种堆焊焊条, 在 45 号钢基体上进行了焊条电弧焊堆焊试验。分析了在相同焊接条件下获得的堆焊层金属的显微组织和显微硬度, 讨论了合金元素对堆焊层金属显微组织及显微硬度的影响。研究表明, 堆焊金属与基体金属具有良好的冶金结合, 第一层堆焊金属受基体金属的稀释程度影响明显, 界面处金属过渡层的宽度因焊条种类的不同而异; 各层堆焊金属中合金元素 Cr、Mo、V 含量随堆焊层数的增加而提高, 堆焊金属的显微组织及显微硬度与堆焊焊条合金元素的含量有关, 与其硬质相的类型、性能及分布等有关。

关键词:堆焊; 堆焊金属; 显微组织; 显微硬度; 合金元素

中图分类号: TG455

文献标识码: A

文章编号: 1001-2303(2009)08-0086-05

Research on microstructure and micro-hardness of overlaying deposited metal of D227 and D237 electrode

ZHANG You-yi¹, YANG Yue¹, QU Jin-shan²

(1.Sichuan Engineering Technical College, Deyang 618000, China; 2.Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Surfacing process is conducted by shielded metal arc welding process on the 45 steel base metal using electrodes D227 and D237, at the same welding conditions. The analyses on microstructure and micro-hardness of deposited metals were made, and the effect of the alloy elements on the microstructure and micro-hardness of deposited metal was discussed. The results show that a good metallurgical bonding of the base metal and the deposited metal is obtained, the dilution effect of the base metal on the first pass deposited metal is obvious, the width of transition region at the interface of the base metal and the first pass deposited metal are different for two electrodes D227 and D237. The concentration of alloying elements Cr, Mo, V in every weld deposition overlay increased with number of deposited layers. The microstructure and micro-hardness of the deposited layers depends on the kind of electrode used as well as the type, performance, quantity and distribution of hardening particles.

Key words: overlaying; deposited metal; microstructure; micro-hardness; alloying element

0 前言

目前, 全世界每年因磨损所造成的经济损失是

收稿日期: 2008-07-26; 修回日期: 2009-03-20

作者简介: 章友谊(1979—), 男, 四川仪陇人, 助教, 硕士, 主要从事高强钢的焊接工作。

十分巨大的。机械工业每年所用的钢材约有 50% 是消耗在备件生产上, 而备件中的大部分是由于磨损寿命不高而失效的, 如 40% 的农机具备件是由于磨料磨损消耗的, 约 30% 的锅炉钢管是由于腐蚀磨损而失效的。磨损导致机件表面物质的丧失或转移, 使

机件配合性能改变,机器的工作可靠性与效率降低,甚至造成事故,使设备过早报废^[1-2]。为减小因磨损而带来的经济损失,可以通过堆焊技术在零部件的表面熔敷一层耐磨金属。许多研究者已在堆焊工艺、堆焊材料的研制、堆焊金属的硬度与耐磨性的关系等方面开展了大量研究工作^[3-5]。在此以 45 号钢作为基体材料,采用不同的堆焊焊条在其表面堆焊耐磨性能较好的熔敷金属层。而堆焊金属的耐磨性与其微观组织和硬度又有密切的联系,本研究对熔敷金属组织和硬度进行了初步探讨,以期对新型堆焊材料的研制开发以及堆焊熔敷金属性能的认识提供理论依据。

1 试验材料及方法

选用 2 块 $\phi 150 \text{ mm} \times 20 \text{ mm}$ 的 45 号钢作为堆焊的基体材料,分别编号为试样 1 和试样 2。待堆焊面用粒度为 70 号砂纸进行打磨,以清除表面上的氧化皮和油污等。两个试样选用不同型号的低氢钠型药皮铬钨硼系堆焊焊条进行堆焊,试样 1 选用 D227 堆焊焊条,其熔敷金属化学成分为: $w(\text{C})=0.45\% \sim 0.65\%$, $w(\text{Cr})=4.0\% \sim 5.0\%$, $w(\text{Mo})=2.0\% \sim 3.0\%$, $w(\text{V})=4.0\% \sim 5.0\%$, $w(\text{Fe})$ 为余量。试样 2 选用 D237 堆焊焊条,其熔敷金属化学成分为: $w(\text{C})=0.3\% \sim 0.6\%$, $w(\text{Cr})=8.0\% \sim 10.0\%$, $w(\text{Mo}) \leq 3.0$, $w(\text{V})=0.5\% \sim 1.0\%$, $w(\text{Fe})$ 为余量。所选焊条均为 $\phi 4 \text{ mm}$,焊条使用前均需在烘箱中经 $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘焙 1 h,后置于焊条保温筒中随用随取。

堆焊工艺:两个试样均采用直流反接极性的焊条电弧堆焊方法,并采用相同的焊接电流和电压,焊接电流 140~165 A,电弧电压 25~28 V,对应焊条 D227 和 D237 的焊接速度分别为 19 cm/min 和 23 cm/min。在基体表面堆焊了三层,层间温度控制在 $280 \text{ }^\circ\text{C} \sim 320 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

使用线切割设备从焊态下无缺陷的堆焊试样上截取合适尺寸的试样,依次在粒度为 80、200、400、600 和 800 的金相砂子上磨制,经机械抛光之后用配制的氯化铁腐蚀剂(5 g FeCl_3 , 20 ml HCl , 100 ml H_2O) 腐蚀出堆焊层组织,并用 Olympus-Tokyo 型金相显微镜对堆焊层金属显微组织进行观察。然后用 HVS-1000 型显微硬度计测量堆焊层剖面显微硬度,载荷为 1.96 N,加载时间为 20 s。

2 试验结果与讨论

2.1 堆焊熔敷金属的显微组织

堆焊基体即母材 45 号钢金属的组织由铁素体和珠光体组成。由于焊条熔敷金属的合金元素及其含量与基体不同,当在基体上堆焊第一层熔敷金属时必然形成一个过渡区域,过渡区域的金属组织既与母材和焊条金属的成分有关,也与母材的熔合比 γ 有关,而熔合比 γ 主要受堆焊时热输入的影响。所谓熔合比就是在焊缝横截面上母材熔化部分所占面积与焊缝全部面积之比,即

$$\gamma = \frac{A_m}{A_m + A_H}$$

式中 A_m 为母材熔化部分的横截面积; A_H 为焊条熔敷金属在焊缝横截面上所占的面积。

焊接时,熔敷金属受母材或先前焊道的熔入影响而引起化学成分含量降低的现象,一般称为稀释。常用稀释率的大小来表示熔敷金属被稀释的程度,而稀释率可用母材金属或先前焊道的焊缝金属在整个焊道中所占质量比来确定,一般用熔合比 γ 来表达。也就是说,随着母材金属熔入到焊缝中所占比例增大(即熔合比 γ 增大),熔敷金属的被稀释的程度也随之增大^[6]。显然,在表面上进行堆焊时,熔深越大,熔敷金属被稀释得越严重。多层堆焊时,最外层稀释率最小,最能反映堆焊焊条熔敷金属本身的性能。

采用焊条 D227 堆焊时得到的接头显微组织如图 1 所示,图 1a 左侧为基体材料,右侧为堆焊熔敷金属。靠近界面第一层堆焊金属中获得的显微组织主要是马氏体和残余奥氏体,并有少量分布不均匀的碳化物析出(见图 1b)。第三层堆焊金属的显微组织是以马氏体为基体,且基体上有贝氏体、残余奥氏体、弥散碳化物和少量的块状碳化物形成,晶粒较细小且分布均匀(见图 1c)。

采用 D237 焊条堆焊时得到的接头显微组织如图 2 所示,图 2a 左侧为基体材料,右侧为堆焊熔敷金属,靠近界面的第一层堆焊金属显微组织是以针状马氏体为基体,基体上较均匀地分布着网状残余奥氏体,另外有少量碳化物的析出。第三层堆焊金属显微组织,其中主要为黑色团状马氏体,白色网状组织为残余奥氏体,并有少量黑色碳化物出现,各种组织分布较均匀。

比较图 1、图 2 发现,两种焊条堆焊时的过渡

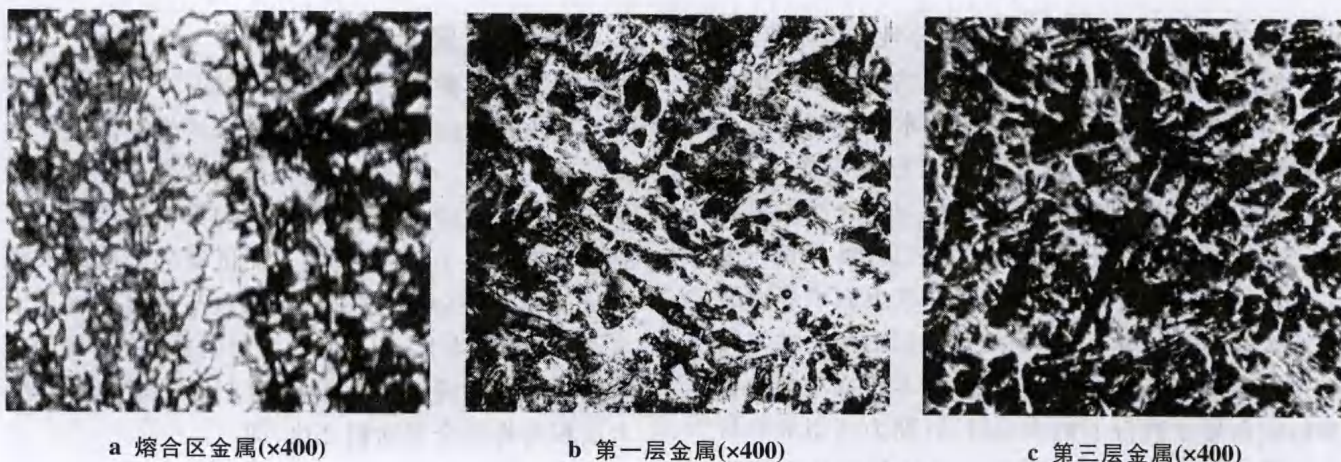


图 1 焊条 D227 堆焊接头显微组织
Fig1. Microstructure of joint made by electrode D227

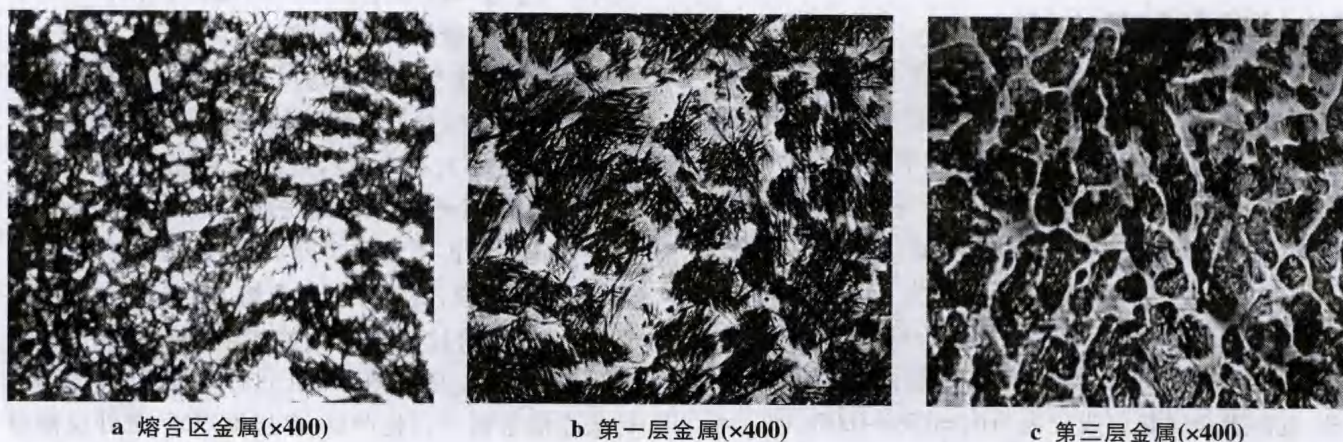


图 2 焊条 D237 堆焊接头显微组织
Fig2. Microstructure of joint made by electrode D237

层宽度存在差异,采用焊条 D237 堆焊时得到的过渡层宽度比采用焊条 D227 的要小。造成这种差异的原因可能是由于焊条中合金元素的含量不同。焊条 D237 的合金元素含量高。随着合金含量的增加,浓度梯度加大,有利于合金元素的扩散。另外,用不同的焊条堆焊一层之后得到的堆焊层金属显微组织与基体材料的显微组织明显不同,已具有熔敷金属的特征,即均形成了以马氏体为基体的显微组织。虽然焊条电弧堆焊的熔合比大,稀释率高,它的升温速度快且在高温停留时间短,使得母材中的铁素体熔解之后并未得到充分扩散而形成残余奥氏体分布在堆焊金属中。第一层堆焊金属显微组织受母材的影响最大,经过第二层堆焊后,母材对熔敷金属的稀释进一步减小,第三层堆焊金属就基本不受基体材料稀释的影响,从而能够充分体现出熔敷金属的性能。对比两个试样的第三层堆焊金属显微组织

可以发现,它们都含有大量的马氏体组织,主要是因为焊条中的 Cr、Mo、V 等合金元素降低了马氏体转变开始温度,使过冷奥氏体稳定性增强,提高了淬透性,并且焊后的冷却速度比较快,这些都为马氏体的形成提供了有利条件。同时,通过第一层和第三层堆焊金属显微组织的对比也可以看到,第三层堆焊金属中的马氏体更细小且分布也更均匀,并且碳化物硬质相的数量也比第一层多^[7-8]。

2.2 堆焊层中主要合金元素分布

堆焊层熔敷金属中 Cr、Mo、V 元素含量检测结果如图 3 所示,试样 1、试样 2 各堆焊层熔敷金属中这 3 种元素的含量均比焊条中相应元素的原始含量低,但随着堆焊层数的增加而逐层提高。众所周知,焊条熔化后所形成的熔滴向熔池过渡期间伴随着剧烈的冶金反应,元素因氧化而减少。总体来看,两个试样堆焊第一层熔敷金属中各元素的含量最

低,这是电弧热作用下熔化的基体金属对熔敷层金属稀释作用的结果;而堆焊第三层熔敷金属中各合

金元素的含量最高,这是因为最外层堆焊金属基本上不受基体材料稀释的影响。

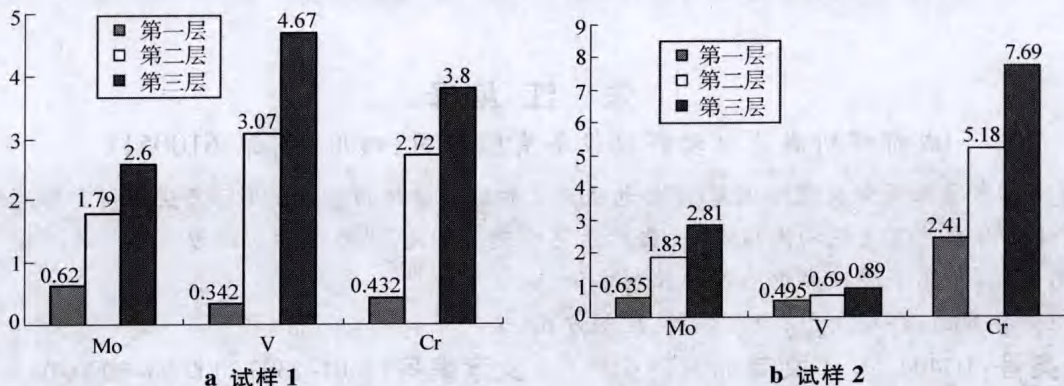


图 3 堆焊层金属中元素 Mo、V、Cr 的分布比较
Fig3. Comparison of element Mo、V、Cr in deposited metals

2.3 堆焊接头显微硬度分布

一般来讲,凡是硬度高的区域,其强度也高,耐磨性较好。本次试验从最外层堆焊金属向基体方向测试其硬度,沿这个方向每隔 0.5 mm 取一个测试层,每个层上测三点,取其平均值作为该层的硬度。通过测试得到试样 1、试样 2 的显微硬度分布,分别如图 4a、图 4b 所示。试样 2 堆焊层熔敷金属的平均硬度大约为 700 HV,最小值大于 600 HV,第三层堆焊金属的硬度变化不大,靠近第二层其硬度略有升高;第二层堆焊金属的硬度相对较高,且出现了峰值;第一层堆焊金属的硬度值变化比较快,越靠近熔合区硬度值越低;而熔合区的硬度值几乎成直线下降。试样 1 堆焊层金属的硬度平均为 610 HV 左右,最小值只有 530 HV;各堆焊层的硬度变化规律与试样 2 基本一致。

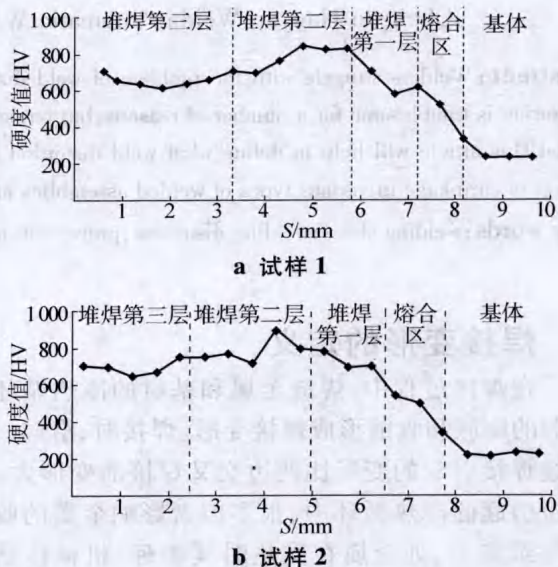


图 4 显微硬度分布
Fig4. Micro-hardness profile

由图 4a、图 4b 可见:两个试样的堆焊层金属显微硬度明显提高,主要是因为堆焊层金属显微组织中有大量马氏体,而这种组织具有较高的硬度,试样 2 堆焊层熔敷金属的平均硬度值要比试样 1 的高,试样 2 堆焊层熔敷金属的平均硬度大约为基体材料的 3.5 倍,而试样 1 为基体材料的 2.8 倍。这是因为两个试样所选用的焊条不一样,在相同堆焊工艺条件下各堆焊层熔敷金属所含主要合金元素 Cr、V、Mo 的含量不同而造成的。其中 Cr 是弱碳化物形成元素,主要起固溶强化的作用,这就使得堆焊层的硬度随含铬量的增加而显著增大,在试样 2 中作用明显;V 是强碳化物形成元素,易和碳形成 VC,VC 硬质相质地坚硬,在堆焊层中呈弥散状分布,这

使得堆焊层金属的硬度显著提高,在试样 1 中作用明显;Mo 易与铁、碳形成复合渗碳体,也可使堆焊层硬度提高^[9-13]。虽然三者均可以提高组织硬度,但试样 2 各堆焊层熔敷金属所含合金元素总量均比试样 1 高,因此试样 2 堆焊层熔敷金属硬度更高。

另外,两个试样的第三层堆焊金属硬度变化都不大,第二层堆焊金属硬度最高,第一层堆焊金属硬度值变化较大,到热影响区时,其硬度值迅速下降到 200 HV 左右,与母材的硬度基本一致,热影响区没有出现软化现象。因为本试验所采用的焊条电弧堆焊的稀释率高,熔合比大,第一层堆焊金属的硬度受母材影响较大,所以变化比较



图7 液压缸窄间隙焊接

考虑。 B 值过小会造成焊接过半后无法施焊, B 值过大会使窄间隙焊接的两道一层和三道一层自动横向跟踪失效,只有手动操作,同时会带来填充量

Page 89 明显;而第二层和第三层堆焊金属受母材的影响就越越来越小,特别是到了第三层,就基本能反映熔敷金属的特性,硬度变化也不大。堆焊第三层的时候相当于对第二层熔敷金属做了一次正火处理,使其组织更加细化,使硬质相碳化物分布更加均匀,所以第二层堆焊金属的硬度,反而比第三层高。

3 结论

(1)采用焊条 D227 和 D237,利用焊条电弧堆焊工艺得到的熔敷金属与基体材料具有良好的冶金结合性能,采用焊条 D237 界面处金属过渡层宽度比采用焊条 D227 要小,第一层堆焊金属受母材稀释的影响较大,第二层影响较小,而第三层基本上不受影响,能反映堆焊焊条熔敷金属本身的性能。

(2)各堆焊层金属中主要合金元素 Cr、Mo、V 的含量,随堆焊层数的增加而提高,显微组织与堆焊焊条的合金含量有关,与其硬质相的类型、性能、分布等有关。

(3)堆焊层金属硬度都达到 600 HV 以上,第二层堆焊金属硬度最高,在热影响区没有出现软化现象。

增大,生产效率降低,焊接质量受人为因素影响比例增大。

4 结论

窄间隙埋弧的焊接坡口形式与尺寸的设计与设备的焊枪厚度、宽度、摆动角度、单丝双丝、焊丝直径、加工工艺流程、工件刚性、工件直径、预热温度、工作环境、焊接规范等均有关。应此,坡口设计时需综合分析方可达到理想的效果。

参考文献:

- [1] 肖逸锋,陈 愚,龚建勋,等.Fe-Cr-C 系药芯焊丝耐磨堆焊层的组织和性能[J].热加工工艺,2008,37(11):1-3.
- [2] 刘家浚.材料磨损原理及其耐磨性[M].北京:清华大学出版社,1993.
- [3] Francis J A.Predicting steady state dilution in multipass hardfacing overlays-geometric approach[J].Science and Technology of Welding and Joining,2002,7(5):331-338.
- [4] 刘政军,季 杰.铬镍钨钼系铁基高温耐磨合金等离子弧堆焊[J].焊接学报,1997(4):216-221.
- [5] 许勇静,陈 俐.堆焊试件硬度与耐磨性的研究[J].电焊机,2001,31(2):28-30.
- [6] 雷世明.焊接方法与设备[M].北京:机械工业出版社,2004.
- [7] 中国机械工程学会焊接学会.焊接金相图谱[M].北京:机械工业出版社,1985.
- [8] 姜锡山.特殊钢金相图谱[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [9] 尹士科,王征林,张晓牧,等.焊接接头性能调控与应用[M].北京:兵器工业出版社,1992.
- [10] 中国工程学会焊接学会.焊接手册(第2卷)[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [11] 张文钺.焊接冶金学[M].北京:机械工业出版社,1993.
- [12] 章友谊,屈金山.电弧堆焊接头组织及微动磨损行为研究[J].热加工工艺,2007(1):13-16.
- [13] 张元彬,任登义.合金元素对堆焊焊缝硬度的影响[J].热加工工艺,2003(4):15-16.

镁及镁合金的焊接性

(1)粗晶。镁的熔点仅为 651℃,导热快,焊接时要用大功率热源,所以焊缝及热影响区金属易产生过热和晶粒长大。

(2)氧化和蒸发。镁的氧化性极强,在焊接高温下,易形成氧化镁(MgO),MgO 熔点高达 2500℃,且密度大(3.2g/cm³),在熔池中易形成细小片状的固态夹渣。在高温下,镁还容易和空气中的氮化合生成氮的氮化物,使接头性能变坏。

镁的沸点不高,仅为 1100℃,因此在电弧高温下很易蒸发。

(3)热应力。镁及镁合金的线膨胀系数约为钢的 2 倍(铝的 1.2 倍),所以焊接时产生较大的热应力,增加产生裂纹的倾向和加大焊件变形。

(4)热裂纹。镁容易和一些合金元素如 Cu、Al、Ni 等形成低熔点共晶(如 Mg-Cu 共晶熔点为 480℃,Mg-Al 共晶熔点为 430℃,Mg-Ni 共晶熔点为 508℃)所以热裂纹倾向较大。

(5)气孔。氢在镁中的溶解度随着温度的降低而急剧减少,因此焊缝中易产生气孔。