

# 冷堆焊高硬度耐磨复合合金<sup>\*</sup>

王爱珍

(郑州轻工业学院 机电科学与工程系, 郑州 450002)

**摘 要:** 运用正交试验法, 试验测定了不同成分的熔炼焊剂与不同合金含量的陶质焊剂复合堆焊时, 堆敷金属的主要成分、含量及渣系对堆焊层硬度与韧性的影响规律, 探讨了其中各种合金元素的合适含量及比例、复合变质剂和活性剂的含量及影响、渣系的合理调整等, 找出了陶质焊剂的最佳配方及合适的熔炼焊剂, 并检测了其堆敷金属的硬度、耐磨性能、抗裂性能和金相组织, 最终研制出了一种冷焊不裂、抗磨损性能不减、焊层硬度达 HRC60 的高硬度、高耐磨性自动堆焊复合合金。该研究对各种大型构件物料磨损面, 在常温下自动堆焊提供了一定的参考数据。

**关键词:** 冷堆焊; 复合合金; 高硬度; 高韧性

**中图分类号:** TG455 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2000)03-62-04



王爱珍

## 0 序 言

矿山、水泥等行业粉碎物料的挤压辊长期受热受压(130 MPa), 辊面迅速磨粒磨损, 以致造成设备停工甚至报废, 如果更换, 经济损失太大, 因此, 需要在辊面上堆焊一定厚度的耐磨金属。以往采用手工电弧焊, 使用作者 1994 年研制的耐磨堆焊焊条<sup>[1]</sup>进行常温堆焊, 效率低、焊工劳动强度大, 若采用埋弧自动焊修复堆焊磨损面则是一种高效率的焊接方法, 但又缺少硬度高( $HRC \geq 55$ )、抗裂性能好、冷焊焊缝无裂纹的堆焊合金材料。

针对此况, 为了寻得优质堆焊合金材料, 运用正交试验法, 试验对比了不同成分的熔炼焊剂与多种合金元素堆敷的工艺性能及焊层质量, 研究了堆敷金属的主要成分、含量及渣系对堆焊层硬度与韧性的影响规律, 研制出了适合于挤压辊磨损表面自动堆焊的新型复合材料。

## 1 试验方法

### 1.1 熔炼焊剂的选择试验

根据矿石破碎机挤压辊使用性能和材料要求, 按照文献[2]介绍, 选择低锰高硅中氟的 HJ260 和低锰低硅高氟的 HJ173 作为试验焊剂, 分别与多种合金元素复合堆敷, 进行工艺性能对比试验。试验中发现, HJ260 属活性焊剂, 在焊接时与合金元素发生

激烈反应, 极容易形成硅酸盐夹杂和结晶裂纹, 不适用与多种合金元素复合堆焊, 而氟化物渣系的 HJ173 则为惰性焊剂, 与多种合金不易发生作用。通过反复比较, 确定选用工艺性能好、堆焊层质量高的 HJ173 和多种合金元素复合堆敷, 作为挤压辊磨损面的补焊材料。

### 1.2 陶质焊剂的配制试验

按照文献[3, 4]介绍, 依次选择碳化物形成元素 Cr、Mo、W、V、Ti、Nb、C 等合金作为陶质焊剂的基本组分, 碳酸盐及变质剂等作为其添加组分。按照常规配制标准, 先精选出优质金属粉和杂质含量低的矿物粉及抗潮能力强的高模数低浓度水玻璃, 以及合适的变质剂等, 再按照配方规定比例, 将各种粉料分别在万分之一精度的天平上称出其定量, 搅拌均匀在一起后, 加水玻璃制成湿料, 再把湿料制成一定尺寸的颗粒, 其颗粒度严格控制在 0.5~2 mm 的约占 90% 以上, 粒度小于 0.5 mm 的仅占 10% 以下, 而大于 2 mm 的颗粒必须筛除掉。最后将制好的颗粒进行 350℃~400℃×2 h 的高温烘焙, 并且随烘干随用。

运用正交试验方法, 共配制十组, 每组五种配方, 依次将配制好的五十种焊剂分别与上述选择熔炼焊剂复合堆焊。试验中发现, 各种合金元素及其含量对工艺性能和堆焊层质量都有不同程度的影响。其中 Cr 及其含量的影响相对较大, 当  $Cr \leq 10\%$  时, 脱渣、成形均良好, 无裂纹, 无气孔。反之, 则各种工艺性能均较差。经反复试验, 认为第五组焊剂 HJ5 的各种性能较好, 确定选用(下文论述中出现的第五组焊剂皆用此代号)。

1.3 试件制备试验

试验时,将 HJE 不同合金成分及含量的五种配方,分别与 HJ173 复合堆焊成五种试件,每种试件的焊制,均采用 MZ-1000 型埋弧自动焊机,φ4.0 mm 的 H08MnA 焊丝,20 mm 厚的 16Mn 钢板。埋弧自动焊设备上改装有前后两个料斗,分别盛装 HJE 和 HJ173。施焊过程中,前料斗装的 HJE 先连续进给于工件表面上,后料斗装的 HJ173 后连续输送覆盖在 HJE 上面,形成的覆层焊剂在电弧作用下,和焊丝一起熔化复合成合金焊缝。焊接规范为  $I=550\sim700\text{ A}$ ,  $U=30\sim40\text{ V}$ ,  $L_{\text{干伸}}=25\sim30\text{ mm}$ ,  $V=20\sim23\text{ m/h}$ 。焊前不需预热,每焊后道焊缝时,要及时清理前道焊缝的渣皮,将层间温度控制在  $100\text{ }^{\circ}\text{C}\pm10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,焊后不需缓冷及热处理。

1.4 试件的检验

为了寻得陶质焊剂的最佳配方及优质复合堆焊材料,在试件焊制后,分别利用洛氏硬度计、磨粒磨损试验机、万分之一精度天平和光学显微镜等设备,进行硬度、耐磨性、抗裂性、合金含量及金相组织等测试、对比和理论分析。

2 试验结果

2.1 焊缝表面质量

堆焊层无裂纹、气孔、夹渣等缺陷;堆焊层表面成形美观、脱渣容易、无剥离现象。

2.2 堆焊层金相组织

金相试样从堆焊金属中截取,抛光腐蚀后用 H-700H 光学显微镜对堆焊层组织进行观察、分析。结果堆焊层金相组织为马氏体基体上弥散分布着大量碳化物,并且碳化物不呈网状,而大多数呈短棒状、块状和粒状,见图 1 所示,是理想的堆焊层组织。

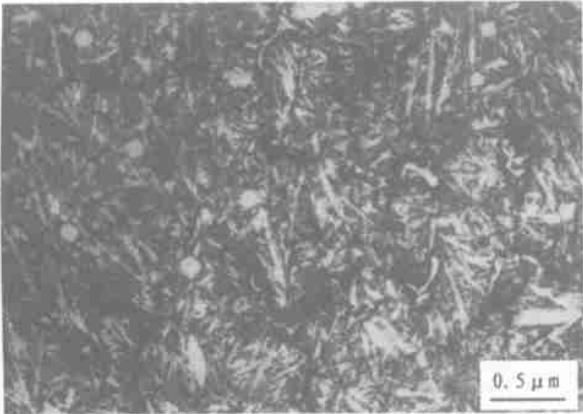


图1 堆焊层金相组织

Fig.1 Metallographic structure of surfacing layer

2.3 堆焊层硬度及耐磨性能

2.3.1 焊态硬度测试

按标准 GB984-85 制备试板,其尺寸为  $100\text{ mm}\times50\text{ mm}\times20\text{ mm}$ ,堆焊 4 层,每层 6 道焊缝,表面焊道长度不小于 70 mm,堆焊工艺规范同上,焊完自然冷至室温后磨平,在 HR-150 洛氏硬度计上按标准 GB984-85 测定,其结果均在 HRC60 左右,而且硬度均匀(见表 1)。

表1 堆焊层硬度值(HRC)

Table 1 Rockwell hardness value of surfacing layers

Layer	No			
	1	2	3	4
First	60.4	59.8	58.7	61.1
Second	61.3	58.9	59.5	60.5
Third	58.2	60.5	69.3	61.4
Fourth	59.6	59.2	61.2	60.2

2.3.2 耐磨性能测试

试板制备同上,先将制备好的试板和 16Mn 钢试板分别放在磨粒磨损机上做磨损试验,再在精度为万分之一的天平上称重测量,并与 16Mn 母材的磨损失重做比较,结果堆焊层相对 16Mn 失重量小,相对耐磨性高如图 2 所示,相对耐磨性  $\epsilon$  约为 30 左右,亦即堆焊层耐磨性好。

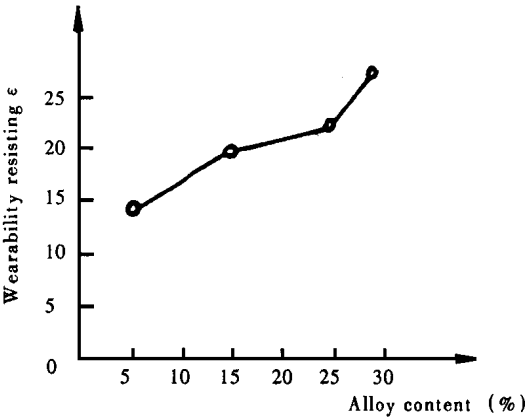


图2 合金元素对堆焊层耐磨性的影响

Fig.2 Effect of alloy elements on resistance to wear of surfacing layer

2.4 堆焊层的抗裂性能

试板规格为  $150\text{ mm}\times150\text{ mm}\times20\text{ mm}$ ,堆焊 4 层,每层 16 道焊缝,表面焊道长度不小于 120 mm。堆焊工艺规范同上,每焊完一道用水冷却,以模拟大型工件的焊接状态,使试件每一道焊缝焊前处于室温状态,并且每焊完一层后,逐层打磨堆焊金属。结果焊缝表面成形好,未发现气孔、夹渣、裂纹等焊接缺陷,证明新型复合堆焊剂具有良好的抗裂性能。

### 3 分析与讨论

#### 3.1 复合堆焊剂碱度的影响

试验发现,采用低锰高硅中氟的 HJ260 焊剂和自配的 HJE 复合堆焊时,随着 HJE 中各种合金元素的加入,焊缝金属的含氧量增加,大量的 Fe 元素被氧化成 FeO,一部分熔于焊缝形成了夹杂,使焊缝金属的韧性明显降低,另一部分虽与 SiO<sub>2</sub> 结合成渣,但渣量不足,使渣的覆盖及焊缝成形不良,并且大量的 SiO<sub>2</sub> 则与 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 结合成了尖晶石结构的硅铝酸盐,粘在金属表面,造成脱渣困难。特别是 V、Nb 的加入,使脱渣更难。同时, C 的加入及 F 量的偏低,又产生了 CO 和 H<sub>2</sub> 气孔。然而,当改用无锰低硅高氟的 HJ173 和自配 HJE 复合堆焊时,随着焊剂碱度值的增高,焊缝金属的含氧量、含氢量及含杂质量均明显降低,焊缝成形及渣覆盖亦明显改善,尤其是在 HJE 中加入多种碳酸盐、适量 TiO<sub>2</sub> 和活性剂、少许 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 等后,原渣系变成了 CaO—CaF<sub>2</sub>—SiO<sub>2</sub>—TiO<sub>2</sub> 渣系,降低了熔渣的氧化性,消除了尖晶状的 NbO 和 VO 氧化物,熔渣覆盖均匀,焊缝成形美观、脱渣容易、无气孔、无裂纹。

试验结果得出,新型复合堆焊剂的最佳组成:碳酸盐 35%~50%,氟化物 20%~40%,硅酸盐 3%~4%,金红石 4%~5%,铁砂 2%~3%,金属粉及复合剂 20%~23%。

#### 3.2 堆焊层主要成分及含量的影响

试验证明,随着 Cr、W、Mo、V、Ti、Nb、C 等合金元素含量的增加,堆焊层金属的耐磨性能也随之提高,如图 2 所示。

##### 3.2.1 C 含量的影响

在耐磨堆焊金属成分中, C 是最主要的元素, C 含量升高,堆焊层的耐磨性增加,而其抗裂性则变差。试验表明,当 C 含量在 0.8%~1.5% 时,低碳钢及低合金钢堆焊层可获得最大硬度。同时, C 元素也最易形成先共析或共析二次网状碳化物,破坏堆焊层的韧性。因此,必须加入适量的变质剂,抑制 Fe<sub>3</sub>C<sub>II</sub> 的生成,打断碳化物的网状,使碳化物呈颗粒状弥散分布,以实现硬度和韧性的最佳配合。

##### 3.2.2 Cr 含量的影响

Cr 是碳化物形成元素,在一定范围内随 Cr 含量的增加,堆焊层中硬质相增加,焊层的相对耐磨性提高(见图 3)。但 Cr 也是铁素体形成元素,当 Cr 含量再继续增加,且同时增加 Cr/C 比时,硬度则逐渐下降,随之耐磨性也均有下降。并且,当 Cr 含量过

高时,易生成粗大铁素体或网状组织的  $\delta$  脆性相,硬度又明显下降。因此,试验得出 Cr 含量应控制在  $\leq 10\%$  为宜的结果。

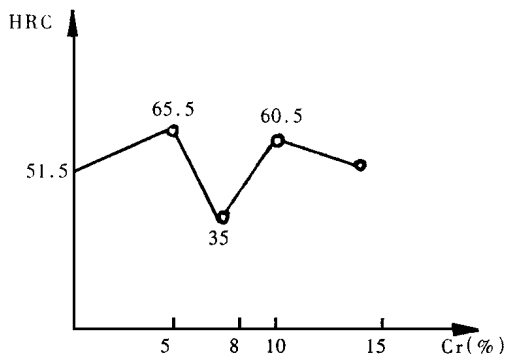


图 3 Cr 含量对堆焊层性能的影响

Fig. 3 Effect of Cr content on performance of surfacing layer

##### 3.2.3 Mo 含量的影响

试验表明,随 Mo 含量的增加,奥氏体区域减少,淬硬性提高。由于 Mo 是碳化物形成元素,不仅以固溶体和碳化物分布于堆焊金属组织中,细化金属晶粒,还与 C 结合形成硬度很高的 MoC,提高基体的硬度,同时还可以细化铁素体晶粒,提高堆焊层的韧性。但是,过量的 Mo,可阻碍碳的扩散,抑制 C 与其它元素的化合过程,从而降低堆焊层中其它碳化硬质相的生成量。所以,过量的 Mo 并不利于硬度和耐磨性的提高,反而有下降的趋势(见图 4)。因此,应控制在 Mo  $\leq 3\%$  为宜。

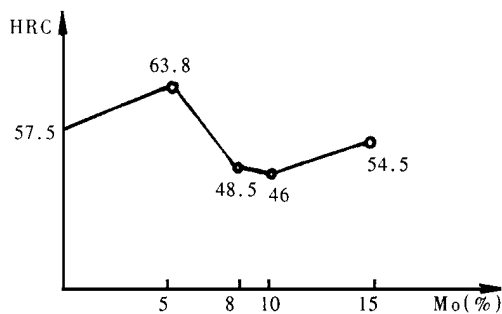


图 4 Mo 含量对堆焊层性能的影响

Fig. 4 Effect of Mo content on performance of surfacing layer

##### 3.2.4 W 含量的影响

试验证明, W 的加入能有效地提高堆焊层金属的红硬性、高温强度、耐磨性及淬透性,并且 W 碳化物具有极高的高温性能,但是 W 是贵金属,为了降低成本,尽可能减少 W 的用量,以 Mo 代 W,控制 W  $\leq 3\%$ 。

##### 3.2.5 Ti、V、Nb 含量的影响

Ti、V、Nb 是强碳化物形成元素,与 C 结合均能形成极高硬度的碳化物质点,减少固溶碳的数量,提

高熔敷金属的抗裂性能。同时,这些碳化物质点具有很高的熔点,即在结晶过程中能够先析出少量质点形成“晶核”,有利于抑制碳化物网的形成,提高熔敷金属的韧性。试验得出 Ti、V、Nb 含量控制在 5% 以下为宜的结果。

3.3 复合变质剂及活性剂的影响

复合变质剂是由 Cu 等微量合金元素和稀土合金元素组成。试验表明,在 HJE 中加入适量的复合变质剂后,既能使先共析碳化物形成不连续的短棒状、小块状和粒状弥散碳化物,减轻碳化物对基体的割裂程度,提高基体的韧性,又能细化碳化物及基体的晶粒度,进而提高堆焊层的韧性。同时,复合变质剂还具有脱 S、改变硫化物形态和净化焊泡等作用,因而提高了焊层金属的高温抗裂性能。

试验证明,在 HJE 中加入少量的活性剂,可使电弧作用下的各种合金元素的活性大大提高,不仅降低各种合金元素的熔点,提高了其熔化数量,还提高了其过渡系数和熔敷效率,减少了未熔化的 HJE 数量,从而避免了不必要的浪费。经过反复试验,确定了活化剂的合适成分及加入量,并在上述正常焊接规范下堆焊,取得了良好的效果。

3.4 堆敷金属化学成分的设计

通过以上分析和调试,得出堆敷金属化学成分的设计范围见表 2。

表 2 堆敷金属化学成分设计范围(%)

Table 2 Design range of composition of surfacing metal(%)								
C	Cr	Mo	Ti V Nb	W	S P	Complex agent	Activ- ator	Other
0.8 ~ 1.5	≤10	≤3	≤5	≤3	≤0.035	Proper amount	Proper amount	Trace

4 结 论

(1) 该覆层焊剂通过调整渣系,加入强碳化物形成元素及活化变质元素,达到了堆焊层既具有高的硬度(约 HRC60)和高耐磨性,又具有良好的抗裂性能,即冷焊不裂的效果,为大型构件覆层焊剂埋弧自动堆焊探出了一条新路。

(2) 该覆层焊剂的焊接工艺性能良好,飞溅小、脱渣好、抗气孔能力强,无裂纹、夹渣、剥离等缺陷,适用于各种条件下的大型构件耐磨堆焊及修复。

(3) 应用结果证明,挤压辊堆焊层抗裂性能和耐磨性能均好,尤其是抗冲刷磨粒磨损性能更优。运行至今,没有发生剥落现象,挤出物料尺寸小,粉磨效率高。

参考文献:

[ 1 ] 王爱珍,等.高硬度高韧性耐磨堆焊条的研究[ J ].热加工工艺,1997,5:46~48.  
[ 2 ] 张文铨.金属熔焊原理及工艺[ M ].北京:机械工业出版社,1980.222~234.  
[ 3 ] Ogborn J S, Kotechi D J. Abrasion resistance of iron—based hardfacing alloys[ J ]. Welding Journal, 1995, 8: 269~278.  
[ 4 ] 苏仲鸣.焊剂的性能与使用[ M ].北京:机械工业出版社,1989

作者简介: 王爱珍,女,1952年出生,副教授。西安交通大学焊接专业本科毕业,后在西安交通大学金相专业研究生班结业。现任郑州轻工学院机电系金工教研室主任。主持并完成国家级和省级以上科研项目近10项,并获厅级以上奖励8项。撰写论文和论著30余篇,其中两次获得本院优秀论文奖,一次获河南教委优秀论文二等奖。

资 料

机械工程科学发展总趋势

半个世纪以来,在党和国家领导下,我国的机械工程科学得到了很大的发展,已经建立了较完善的学科体系,在学科前沿研究、技术创新和工程应用、为国民经济服务诸方面取得了突出成就。未来机械工程科学发展的总趋势将是交叉、综合化;数字、智能化;微型、精密化;清洁、高效化和柔性、集成化;精密高效低成本加工和成形技术、网络虚拟、柔性智能自动化制造技术、智能机器人及虚拟仪器设备、微型机电系统、仿生机

械和制造技术将日趋成熟并被市场所接受;可重构制造系统的理论和适合中国国情的制造模式将得到完善和发展;在机构、摩擦学、仿生机

械和仿生制造等领域的学术界,我国将进入先进行列;在与现代物理学和化学相关的计量、测试及其仪器领域,将可能取得世界水平的创新成果。

摘自《中国机械工程学会会讯》