

# 热轧辊耐磨堆焊焊条的研制<sup>\*</sup>

应鹏展 葛长路 蔡应军  
(徐州 中国矿业大学)

**摘要** 本文研究了一种用于热轧辊堆焊的耐磨堆焊焊条,通过反复调整焊条药皮组成,找到了适合热轧辊堆焊的合金系。通过堆焊层的金相显微分析及X—射线物相分析表明:新研制的热轧辊耐磨堆焊合金的组织为马氏体加残余奥氏体加碳化物。堆焊层的硬度在HRC58~60之间。高应力磨料磨损实验和工业试验证明:热轧辊堆焊合金的耐磨性优良,是45钢的6.1倍。在580℃,经1000min时效后,堆焊层硬度仍保持在HRC58~59。

**关键词:** 热轧辊 耐磨性 堆焊焊条 堆焊层 硬度

## 0 序 言

轧制钢材需要大量的轧辊,而轧辊的磨损问题相当严重。据统计<sup>[1]</sup>,目前国内轧辊的平均利用率为60%,不正常报废占50%,轧辊使用寿命过短的最普遍原因是表面软化、早期磨损失效造成的。目前我国许多中小生产厂家采用45钢作为热轧辊材料,45钢的耐磨性、耐热性及高温强度均较差,磨损相当快。如果采用3Cr2W8等合金钢制造轧辊,其使用寿命会提高一些,但从目前我国的实情来看:一是这些材料的大型锻件供应不足;二是这些材料价格较高,一旦轧辊表面磨损失效,整个轧辊报废,将造成更大的材料浪费。堆焊法为制造热轧辊开辟了一条新途径,这种方法不仅可节省大量的轧辊用钢,而且对失效轧辊的修复具有积极的意义。

作者研制的热轧辊耐磨堆焊焊条,在室温下具有良好的焊接性,焊前不需要对热轧辊预热,焊后无裂纹,焊后不用淬火或其它热处理工艺便能得到高硬度和耐磨性。

## 1 焊条的堆焊工艺性能

本焊条采用价廉易购的H08A低碳钢为焊芯,药皮是在钛钙型药皮基础上加以改进,既保留了钛钙型药皮电弧燃烧稳定、脱渣容易、飞溅小、成型美观、交直流两用等优点,又增加了许多新的优点。由于药皮中含有较多的合金剂使药皮的导电性好、易电离物质多,引弧十分容易,起弧后药皮中的合金剂在电弧的搅拌作用下向熔滴中过渡合金元素。又因药皮中含有较多的铁合金,焊接时铁合金向焊缝过渡,使焊条的焊着速度(单位时间内焊缝所得到填充金属的重量)和熔敷效率(即焊缝所得填充金属重量占熔化焊芯金属重量的百分数)都大大提高<sup>[2]</sup>。另外,本焊条为酸性熔渣,对母材表面油锈不敏感(对修复旧轧辊除锈要求不严格),熔渣比重小、熔点低,多层堆焊时也不易引起夹渣。

焊条堆焊电流与普通钛钙型结构钢焊条相当或稍大一些,φ4焊芯的耐磨焊条堆焊电流在140

<sup>\*</sup> 煤炭工业部资助项目

~160A 之间。当堆焊电流偏低时,焊条熔化速率降低,碳及合金元素并未充分熔入堆焊层中,而是以熔渣的形式损失掉,合金碳化物含量下降,造成堆焊层硬度偏低,耐磨性下降;当堆焊电流偏大时,熔池温度也随之提高,碳及合金元素烧损较多,合金碳化物含量减少,堆焊层硬度和耐磨性下降。大电流还会使熔池温度上升,易促进粗晶的形成,这也是应该避免的。选择堆焊电流为 150A 时,碳及合金元素能充分保留在堆焊层中,形成一定量的合金碳化物硬质相,堆焊层的硬度和耐磨性获得提高。

单层堆焊与多层堆焊硬度相差不大。这是因为,此种焊条由于没有萤石之类增加熔深的矿石粉(当焊条药皮中含有较多的氟化钙时,由于氟对电子亲和力很大,当氟在阴极区夺取电子形成负离子时会放出大量的热,在这种情况下,阴极区的热量和温度将比阳极区要高),所以单层堆焊受母材稀释的程度极小。这有利于减少轧辊表面的堆焊次数,提高工作效率。以下试验均采用 Φ4 焊芯的热轧辊堆焊焊条,焊接电流为 150A,单层堆焊、直流焊机。

2 堆焊合金的组织与性能试验

2.1 堆焊层焊态组织

堆焊组织是决定堆焊层耐磨性的主要因素,本文研究的热轧辊堆焊合金由于含有较多的合金元素和适量的碳,而使堆焊层碳化物含量较多,其基体组织为马氏体+少量残余奥氏体,如图 1 所示。

2.2 X—射线衍射仪测试

为研究堆焊合金的相组成,对试样进行了 X—射线物相分析,结果见图 2



图 1 堆焊合金的金相照片 x400

Fig. 1 Optical micrograph of hardfacing

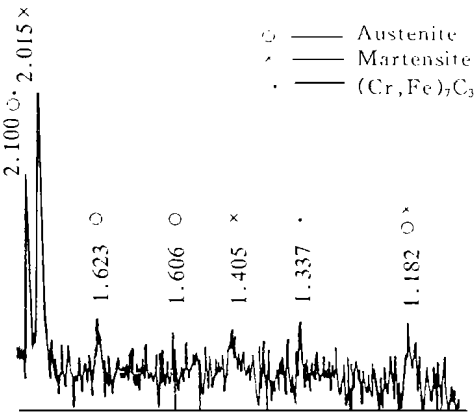


图 2 X射线衍射分析

Fig. 2 X—ray diffraction analysis

2.3 MM—200 磨损试验机试验

该试验中,上试样固定不动,下试样(滚轮)旋转,将磨料带入磨损试验表面。

上试样制备:将热轧辊堆焊焊条堆焊在 10mm 厚的 45 钢板上,堆焊层为一层,切成 10mm×10mm×12mm 的方块,共 3 块编为 1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>。试样表面磨光,表面粗糙度 R<sub>a</sub>0.8。标准试样为 45 号钢退火态,编号为 4<sup>#</sup>~6<sup>#</sup>。下试样为 GCr15 钢,830℃~860℃淬火,150℃~180℃低温回火,硬

度 HRC58~61,表面粗糙度  $R_a0.8$ 。下试样尺寸为 $\phi44.1\text{mm}\times9.8\text{mm}$ ,转速 180rpm。磨料采用 60~100 目石英砂,硬度 HV900~1100,磨料流量 18~20g/min。试验施加载荷 20kg,试验时间 2h,测定失重量,相对耐磨性  $\epsilon=\frac{\text{标准试样磨损量}}{\text{试样磨损量}}$ ,试验结果见表 1。

表 1 堆焊合金的耐磨性

Table 1 Wearability of hardfacing

No.		Weight before wear	Weight after wear	Loss	Average loss	Relative wearability
Hardfacing	1	10.95481	10.95250	0.00231	0.00243	6.1
	2	10.73725	10.72489	0.00236		
	3	10.76533	10.76301	0.00232		
45 steel	4	10.08741	10.07316	0.01425	0.01425	1
	5	10.10824	10.09396	0.01428		
	6	10.09526	10.08105	0.01421		

2.4 堆焊合金的硬度值

堆焊电流为 150A,堆焊层为一层,堆焊合金的宏观硬度和显微度值见表 2

表 2 堆焊合金的硬度

Table 2 Hardness values of hardfacing and base metal

hardfacing(HRC)	58.8	59.1	60.1	59.0	60.0
Base metal(HV)	708	711	713	709	711

2.5 堆焊层的高温时效硬度

堆焊合金在 580℃,经不同时间时效后,测定其硬度值,结果见表 3

表 3 堆焊合金 580℃时效后的硬度

Table 3 Hardness values of hardfacing after ageing at 580℃

Time(min)	25	50	100	200	500	1000
Hardness(HRC)	59.5	59.2	58.8	58.7	58.4	58.2

2.6 堆焊合金的能谱试验

采用 EDAX—PV9100X 射线能谱仪和化学分析,测定堆焊合金的成分,结果见表 4

表 4 堆焊合金成分

Table 4 Composition of hardfacing

Element	C	Cr	W	V	Nb	Mo	Re	Fe
Content(%)	0.3~0.4	2.0~4.0	1.5~2.5	0.1~0.3	1.7~2.5	1.5~2.3	Trace	Balance

3 分析讨论

由能谱试验和化学分析(表 4)可以看出,新研制的轧辊堆焊合金系为 3Cr3 W2Mo2 NbRe。含碳量在 0.3%~0.4%。合金元素总量在 7%左右。由文献[ 3] 可知,该合金系属中碳中合金二次硬化型超高强度钢。这类钢具有高的淬透性,可空冷淬火。500℃~600℃回火时,在马氏体中分解析出弥散的  $M_2C$  和 MC 型碳化物,产生二次硬化。

### 3.1 合金元素的作用

#### 3.1.1 钨

为提高堆焊层的韧性,我们在保持堆焊层 C、Cr 含量不变的情况下,调整了 W 的含量。

钨是强化堆焊层中回火马氏体,造成高的红硬性的主要元素,它与碳原子的亲和力大,能提高回火马氏体的分解温度。同时钨原子半径大,增加了 Fe 原子自扩散激活能,使马氏体加热到 600 ~ 625 °C 附近时,还比较稳定。在回火过程中,部分钨以  $W_2C$  的形式析出,产生二次硬化,使堆焊层在高温时硬度不致降低,提高了堆焊合金在高温下的抗磨损性。但是,钨含量的增多加大了堆焊层的裂纹倾向,并且钨属贵重金属,为此,我们把 W 含量降到 2.0% 左右。加入 Mo、Nb 等细化晶粒的元素来改善其韧性。

#### 3.1.2 钼和铌

堆焊合金加 Mo 后,不仅淬透性显著提高、晶粒细化,而且回火脆性倾向大大减轻。Nb 具有细化晶粒,提高堆焊层的强度和韧性的作用。同时, Nb 与 C 结合形成 NbC 硬质相,其硬度高达 HV2400,是理想的硬化相。另外, Mo、NbC 熔点极高(3600 °C),且弥散分布,不易长大,使堆焊合金的高温强度高,堆焊层脆性小,有利于堆焊层的高温抗磨性。

#### 3.1.3 稀土

在堆焊层中加入微量的稀土,不仅可消除有害杂质,净化堆焊层,而且可使堆焊合金表面的氧化膜致密,从而提高了堆焊层合金的耐热性。

### 3.2 堆焊合金组织与耐磨性的关系

堆焊层组织是决定堆焊层耐磨性的主要因素,由于本文研制的热轧辊堆焊合金中含有较多的合金元素和适量的碳,形成一定量均匀分布的碳化物。大部分碳化物是  $(Cr, Fe)_7C_3$  (HV1200 ~ 1800),另有少量的  $W_2C$  (HV3780)和  $VC (< 2800)^{[4]}$ ,这些高硬度的碳化物,能强烈地抵抗磨料的切削作用,提高了热轧辊抗磨损能力。又因为基体组织为马氏体+少量残余奥氏体,使基体耐磨性大大提高。

### 3.3 热轧辊堆焊合金组织分析

由于热轧辊在高温高压应力条件下工作,考虑到工况对热轧辊堆焊合金的硬度、强度、塑性、韧性、磨削加工性的要求,我们选择其堆焊合金为中碳中合金,其组织为马氏体、碳化物及少量残余奥氏体。该合金系的塑、韧性较好,焊接裂纹倾向小,其耐磨性可达 45 钢的 6.1 倍(见表 1)。由高温时效实验(见表 3)也发现堆焊合金在高温下的硬度保持很好,组织稳定性强,适用于热轧辊的工况。

由文献[4]可知,目前国内使用的 3Cr2W8 堆焊合金的组织为马氏体+碳化物+少量贝氏体。3Cr2W8 焊丝埋弧堆焊存在焊接设备昂贵,工艺复杂等缺陷。本研究调整了合金系,并采用了适合现场施工的手工电弧焊工艺。

## 4 工业试验结果

通过工业现场试验证明,新研制的轧辊堆焊焊条其耐磨性和耐高温性均能满足工业要求,并获得了一定的经济效益。

某钢锹厂生产钢锹过程中用的热轧辊,是 45 钢锻坯,经车削加工后直接投入使用。生产一个班次就得换一对轧辊,换下车削加工后再用,通常最多能使用 4 个班次便报废,造成材料上的巨大浪费。按每对热轧辊服役 4 个班次计算,年消耗热轧辊费用为 31.5 万元。加上拆、装轧辊所花费

的人力、时间,损失就更大。作者用本文研制的热轧辊焊条对轧辊表面进行了堆焊,经工业试验:热轧辊使用寿命提高到 24 班次,全年消耗轧辊费用为 7.75 万元,一年可节约费用 23.75 万元。

## 5 结 论

- (1)新研制的热轧辊堆焊合金系为 3Cr2W2Mo2NbRe。
- (2)新研制的热轧辊堆焊合金的组织为马氏体加碳化物加少量残余奥氏体。
- (3)新研制的热轧辊堆焊焊条的焊接工艺性好,焊后无裂纹,能适合现场施工。
- (4)新研制的热轧辊堆焊合金在 580℃,较长时间时效后,硬度变化不大,可保持在 HRC58~59 之间。

(1996—02—26 收到初稿, 1997—03—21 收到修改稿)

## 参 考 文 献

- 1 材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书编委会. 材料的磨料磨损. 北京: 机械工业出版社, 1990: 161
- 2 薛迪甘. 焊接概论. 北京: 机械工业出版社, 1984: 73
- 3 王笑天. 金属材料学. 北京: 机械工业出版社, 1987: 98
- 4 赵成章. 硬质耐磨堆焊材料及其硬质相. 焊接, 1986(6): 1~5
- 5 周振丰等. 焊接冶金与金属焊接性. 北京: 机械工业出版社, 1988: 452

## Development of Electrode for Hot-roller Hardfacing

*Yin Pengzhan, Ge Changlu, Cai Yingjun*  
(China University of Mining and Technology)

**Abstract** A special hot-roller hardfacing electrode is studied in this paper. A new alloy system suitable for hot-roller hardfacing is found by improving the composition of the electrode coating. X-ray and microstructure analyses indicate that the new hardfaced metal microstructure consists of martensite, retained austenite and carbonide. The hardness of the hardfacing is among HRC 58~60. Wearing resistance tests and industrial practices have proved that the hardness is 6.1 times as high as 45 steel's. The hardness still keeps between HRC 58 and 59 after 1000minutes, at 580℃.

**Key words** hot-roller, wearability, hardfacing electrode, hardfacing, hardness