

97.18(2)

1997/8/43X/018/002

①

第18卷 第2期  
1997年6月焊 接 学 报  
HANJIE XUEBAOVol.18 No.2  
June 1997

1-5

## 免预热耐磨堆焊焊条的研究

TG422.1

李午中 张炳范 徐凯龄  
(天津大学)宋庆义<sup>V</sup> 宋炳章 孙 勃  
(邢台神钢焊接有限公司)

**摘要** 本研究采用CAD技术研制出一种具有优良耐磨、耐蚀、耐热性的堆焊焊条。该焊条可广泛用于阀门和轧辊的堆焊。焊前不预热不产生裂纹、可改善劳动条件,降低工艺成本,具有显著的经济效益和社会效益。

**关键词:** 堆焊焊条 免预热 抗裂 CAD

## 0 序 言

目前国内阀门和轧辊的堆焊量大,对堆焊层性能的要求也较高。不仅要求堆焊层具有高硬度和高耐磨性,而且还根据工作条件的不同要求具有耐热性、耐蚀性、耐冲击等综合性能。针对上述要求,国内已发展了一些阀门堆焊焊条,如D507, D517等。虽然这些常规的堆焊焊条在硬度方面能满足使用要求,但当HRC $\geq$ 40时,其抗裂性变差。为防止产生裂纹,一般要求焊前将工件预热300℃以上。这不仅严重恶化劳动条件,而且还显著提高工艺成本。为了解决上述问题,本文针对Cr13型阀门和某些轧辊的表面堆焊开发了一种新型堆焊焊条,其技术特点为:堆敷金属的硬度HRC=40~48;焊前不预热不产生裂纹,焊后不需热处理可以进行机加工;焊条具有优良的工艺性能。

## 1 堆敷金属的合金系统和渣系选择

为了保证堆敷金属的硬度、耐热性和耐蚀性,本研究采用以Cr13型为基础的Cr-Ni-Mn合金系统。利用镍、锰和碳的奥氏体化作用,使堆敷金属获得马氏体+奥氏体双相组织。目的是在保持高硬度的同时提高抗裂性。本研究采用直径4mm的H1Cr13焊芯。利用药皮过渡其它元素。

为了保证良好工艺性能、冶金性能和抗裂性,选用低氢型CaO-CaF<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>渣系做为本研究的基础渣系。

## 2 堆敷金属耐磨性能的优化设计

研究表明,堆敷金属的耐磨性主要取决于其成分和组织类型,而与硬度并不成正比关系<sup>[1]</sup>。因此,必须采用最优化技术求出高耐磨性的最优配方。

## 2.1 试验方法及试验结果

• 河北省科委资助项目

焊条配方的设计是一个多因子试验设计问题,在高温冶金反应过程中,各因子之间存在着复杂的交互作用。这给焊条的研制带来了较大困难。传统的焊条设计方法是经验法,其缺点是试验量大,周期长,费用高,且难以找出最优配方。

本研究采用 WMCAD 软件包<sup>[2]</sup>按一次回归正交设计安排试验,主要考察碳、锰、镍、铬等元素对堆敷金属硬度和耐磨性的影响,其它组份固定不变。利用计算机设计出 9 个试验配方,并压制成  $\phi 4\text{mm}$  的焊条。根据 GB984—85 规定的试验方法堆焊试件。每个试件堆焊四层,在第四层上测定硬度(HRC)、制取耐磨试验的试件( $7\text{mm} \times 7\text{mm} \times 25\text{mm}$ )。并以磨损体积  $\Delta V(\text{mm}^3)$  的大小衡量堆敷金属的耐磨性。

在光学显微镜下观察堆敷金属的组织。利用 X-射线衍射仪鉴定组织类型,用天津大学开发的 HJX-1 型定量金相分析仪分别对 9 种堆焊试件的组织进行识别和统计。

## 2.2 数学模型的建立

根据试验结果和一次回归正交设计的统计原理,在计算机上建立了硬度、磨损体积、马氏体含量与药皮组份编码因子间的数学模型。

$$\text{HRC}(X) = f_1(X) \quad \Delta V(X) = f_2(X) \quad (\text{mm}^3) \quad M(X) = f_3(X) \quad (\%)$$

式中  $X = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T$ , 分别为药皮中碳、锰、镍、铬的编码因子。

在本研究中,由上述试验计划所建数学模型其置信度均在 99% 以上。利用上述数学模型,已知药皮组份可预测堆敷金属的性能和组织;分析堆敷金属性能与组份间的相关性;根据对性能的要求求解最优配方。

## 2.3 相关性分析

### 2.3.1 硬度与组份间的相关性

本研究表明,药皮中增加合金元素含量,硬度并不呈线性增加,反而随碳、锰、镍、铬的增加而下降。这是由于随着合金元素的增加,其铬当量和镍当量提高。由 Schaeffer 组织图<sup>[3]</sup>可知,这会引起奥氏体含量增加,马氏体含量降低,因而硬度下降。但碳、锰、镍之间存在着复杂的交互作用,并非呈单调的线性关系。其硬度的三元等值线图如图 1 所示。

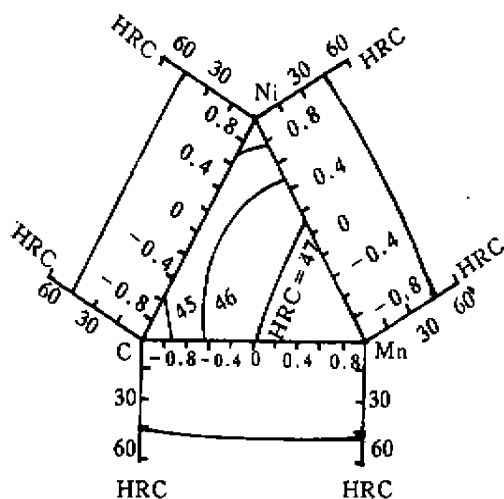


图 1 C-Mn-Ni 硬度三元等值线图

Fig.1 Tribasic isopleth of hardness  
on C-Mn-Ni alloy

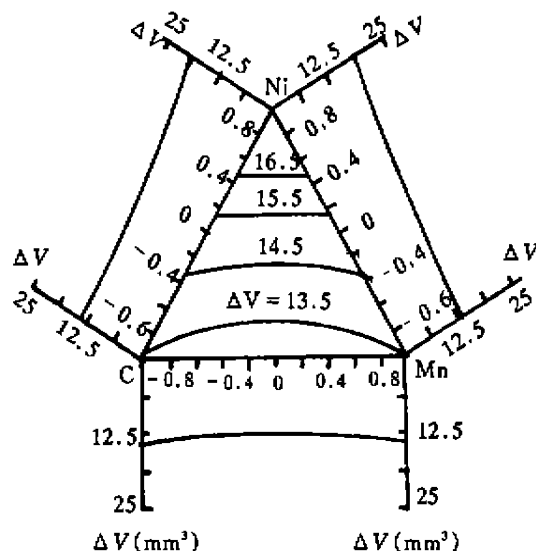


图 2 C-Mn-Ni 系磨损体积三元等值线图

Fig.2 Tribasic isopleth of wear  
volume on C-Mn-Ni alloy

由该图可以看出,在试验研究范围内,增加锰含量,降低碳、镍含量硬度提高较快,这是由于碳的绝对含量较少,且碳、镍的奥氏体化作用比锰更强所致。

### 2.3.2 耐磨性与组份间的相关性

与对硬度的影响一样,提高药皮中碳、锰、镍、铬含量,耐磨性下降。这也与堆敷金属中的奥氏体比例增加而马氏体量减少有关。因此,从提高耐磨性出发,加入的合金元素并不是越多越好。药皮中碳、锰、镍对磨损体积的影响也存在着复杂的交互作用。其三元等值线图如图 2 所示。

### 2.4 堆敷金属耐磨性能的最优化

为了利用最优化技术求解最优配方,将式(1)和式(2)改写成如下最优化数学模型。

目标函数: $F(X) = \Delta V(X) = \min$

约束条件: $G(X) = HRC(X) \geq 42$

将上述数学模型编制成函数子程序输入计算机,利用混合罚函数法进行优化,求出最优配方。并将优化的焊条配方压制成焊条进行复验,结果如表 1 所示。

表 1 优化焊条堆敷金属的硬度及耐磨性

Table 1 Hardness and wear resistance data of deposited metal of optimized electrode

Item	HRC	$\Delta V(\text{mm}^3)$
Optimized data	43	11.9
Experimental results	42	11.23

由表中数据可以看出,优化焊条堆敷金属的试验值与优化值相吻合。

## 3 优化焊条 D506Ni 的性能

根据求出的最优配方,经过工程处理,研制出一种 D506Ni 焊条,并对其成分、组织、性能进行了试验研究。

### 3.1 堆敷金属的硬度

经过对不同批号焊条进行试验,将 D506Ni 焊条的硬度指标列于表 2。

由试验结果可以看出,D506Ni 焊条的硬度适中,且试验数据稳定,由于本焊条采用了最优化技术,使堆敷金属的化学成分和组织均获得了最佳配比,因此,在保证硬度合适的同时,亦获得了较高的耐磨性。

表 2 D506Ni 焊条堆敷金属的硬度

Table 2 Hardness data of deposited metal of D506Ni electrode

No.	Hardness(HRC)					Average value
	1	2	3	4	5	
1	42	44	42	42	44	43
2	41	41	42	43	42	42
3	42	42	43	42	44	43
4	44	45	42	43	42	43
5	41	42	45	40	40	42
6	42	43	43	43.5	44	43

### 3.2 堆敷金属的组织

对第四层堆敷金属进行 X 射线衍射分析表明,堆敷金属的组织为马氏体(晶格常数  $a_0 = 2.8664$ )和奥氏体(晶格常数  $a_0 = 3.6$ )双相组织。其光学显微镜下的金相组织照片如图 3 所示。经测量堆敷金属中的  $M = 39\%$ ,  $A = 61\%$ 。这种组织状态使堆敷金属具有优良的抗裂性。

### 3.3 堆敷金属的扩散氢含量

由国家焊接材料质量监督检测中心按 GB 3965—83 对堆敷金属的扩散氢进行测定,该焊条的扩散氢含量平均值  $1.26\text{ml}/100\text{g}$ ,属于超低氢焊条。

### 3.4 堆敷金属的抗裂性

本研究采用文献[4]推荐的试验方法进行抗裂试验,焊后放置 24hr,通过着色检验和磁粉探伤在焊道和热影响区均未发现裂纹。天津无缝钢管厂利用该焊条常温下焊补从意大利进口的 4CrMoVSi 芯棒,邢台特种轧辊用该焊条在常温下不预热堆焊 1 吨重的 60CrMo 轧辊均未产生裂纹。这说明该焊条具有高的抗裂性。

### 3.5 D506Ni 焊条的工艺性能

通过国家焊接材料质量监督检验中心试验和用户使用证明,该焊条具有优良的工艺性能,电弧稳定,成形美观,脱渣容易,飞溅小,效率高,耗电量低。

有关工艺性能的测定数据如表 3 所示。

表 3 有关工艺性能测定数据

Table 3 Experimental data on process properties

Melting coefficient (g/A.h)	Deposition coefficient (g/A.h)	Deposition efficient (%)	Spatter loss coefficient (%)	Power consumption (KWh/kg)
9.76	11.00	112.3	1.40	2.2

## 4 结 论

(1) 采用最优化技术研制堆焊焊条具有周期短,成本低,设计质量高等特点,具有显著的经济效益和社会效益,为堆焊焊条的研制开创了一条科学的新途径。

(2) 利用本研究建立的数学模型,可根据合金剂的加入量预测堆敷金属的性能及组织,同时也可根据对堆敷金属性能的要求求解最优配方。因此具有重要的理论和实际意义。

(3) 研制的 D506Ni 焊条具有优良的耐磨、耐蚀、耐热性和工艺性能、抗裂性高,室温下不预热焊接不产生裂纹,焊态下可进行机加工。可显著改善劳动条件,降低工艺成本。可广泛用于工作温度  $450^\circ\text{C}$  以下受水、蒸气、石油介质作用的碳钢和低合金钢部件、高、中压阀门密封面和轧辊的表面堆焊等。

(1996-02-01 收到初稿,1997-03-16 收到修改稿)

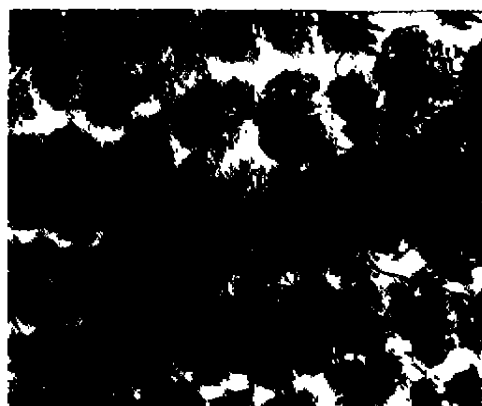


图 3 堆敷金属的金相组织  $\times 400$

Fig.3 Microstructure of deposited metal

## 参 考 文 献

- 1 王莲芳等, 堆敷金属耐磨性与硬度关系的研究. 焊接. 1991(6):6~9
- 2 李午申等, 焊接材料计算机辅助设计软件系统. 机械工程学报, 1993(2):39~45
- 3 周振丰等, 焊接冶金与金属焊接性. 北京:机械工业出版社, 1988.359
- 4 高清宝等, 阀门堆焊技术. 北京:机械工业出版社, 1994.501

**Non - preheating Hardfacing Electrode with  
Wear Resistance Properties**

*Li Wushen, Zhang Bingfan, Xiu Kailing*

( *Tianjin University* )

*Song Qingyi, Song Bingzhang, Sun Fang*

( *Shengang Welding Limited* )

*Company of Xingtai City* )

**Abstract** A new surfacing electrode with wear, corrosion and heat resistance properties is developed by the technology of CAD in this paper. This electrode can be used to surface worn steel mill rollers and valve parts without preheating, therefore the labour condition can be improved greatly. The electrode has the following advantages: a high resistance to cracking, low cost, high economical profit and society significance.

**Key words** hardfacing electrode, non-preheating, resistance to cracking, CAD