

从图4可以看出:

$$h \approx CF = EF - CE = EF - \frac{1}{2}AG \approx h_1 - \frac{1}{2}b$$

$$\text{或 } h \approx CF = h_1 - \frac{1}{2}b = h_2 + b - \frac{1}{2}b \approx h_2 + \frac{1}{2}b$$

$$\text{或 } h = \frac{1}{2}(h_1 + h_2)$$

由此可见,当焊接接头存在错边时,焊缝余高为测得两个值( $h_1, h_2$ )的平均值。只有这样,余高的测量值才会考虑错边量的影响,测量的结果才比较合理。

对于盖面焊为多道焊时,焊缝最高点偏离焊缝中心较大,焊缝余高最大值不在焊缝中心处,用上述公式测得的结果误差会较大,可参照此法合理考虑错边量

的影响。

### 3 结束语

对存在错边对接接头进行分析可得出以下结论:

(1)焊缝的真实余高为超出表面焊趾连线(此处为斜线)上面的部分焊缝金属高度;

(2)对于一般情况下,最高点位于焊缝中心的正常焊缝,余高的测量应去除错边的影响,取两侧测量的平均值。

(收稿日期 2001 06 20)

作者简介: 李为卫,1965年生,学士,工程师。

## 热锻模堆焊焊条及堆焊工艺

陕西省渭南高新区开拓特种焊接材料厂(714000) 李创基

**摘要** 研制了热锻模堆焊系列专用焊条。该焊条堆焊工艺简单,不需预热和缓冷,堆焊金属焊态能顺利进行机械加工,加工后不需淬火,回火(时效)即能满足热锻模性能要求。用研制的焊条修复和制造的热锻模比原8Cr3和3Cr2W8模具的使用寿命成倍提高。

**关键词:** 热锻模 堆焊 焊条

### SURFACING ELECTRODE AND PROCEDURE FOR HOT FORGING DIE

Weinan Kaituo Special Welding Material Factory, Shanxi Li Chuangji

**Abstract** special surfacing electrode for hot forging die was developed. Surfacing procedure was simple, and did not need preheat and slowly cold after welding using the electrode. Weld metal in welding state could be worked by mechanism method. Without quench and temple after mechanical working, the performance of joint could satisfied the requirement of hot forging die. Service life of hot forging die by welding and repairing could doubly rise as compared with 8Cr3 and Cr2W8 die.

**Key words:** hot forging die, surfacing, electrode

### 0 前言

热锻模是机械制造中重要零件的主要生产工序。而热锻模是制约模锻生产和锻件成本的主要因素。提高热锻模的寿命和失效热锻模的修复是模锻生产中需要迫切解决的问题,特别是大批量生产齿轮、轴承、汽车等部门尤为突出。

用堆焊方法修复和制造热锻模,在近十几年得到

广泛的研究。但是目前国家标准上只有D337和D397两种热锻模焊条,它们的堆焊金属成份相当于传统的热锻模材料3Cr2W8和5CrMnMo,堆焊制造的热锻模也只有原模具寿命的70%~80%,而且这两种焊条的堆焊工艺复杂,必须采取焊前预热300℃以上、焊后缓冷等工艺措施。另外,这两种焊条堆焊金属焊态硬度≥45 HRC,机械加工困难,只能采用焊后退火→机械加工→调质的复杂工序。所以堆焊修复和制造热锻模这

一先进工艺方法因为没有理想的专用焊条而没有推广和普及。

1987年3月,我们与某汽车厂锻造分厂合作,开展了热锻模堆焊焊条及堆焊工艺研究。经过十多年的探索,研制成功了热锻模堆焊系列专用焊条并成功地应用于生产。

## 1 热锻模堆焊对焊条的基本要求

在综合分析研究热锻模的使用条件和热锻模堆焊所面临的主要问题基础上,对要研制的热锻模堆焊专用焊条从堆焊金属性能、堆焊工艺性能、焊后加工性能等方面提出如下要求:

(1) 焊条应具有良好的焊接工艺性能,焊接工艺简单,特别是焊前不预热。

(2) 堆焊金属的耐磨性能和耐热疲劳性能不低于常用的热模具钢。

(3) 堆焊层焊态应具有良好的加工性能,要求焊态硬度 $\leq 40$  HRC。

(4) 模具加工完后不用淬火(调质)而满足热锻模使用性能要求。

## 2 焊条研制

焊条采用 H08A 焊芯,合金元素由药皮过渡。因而焊条药皮采用氧化性很小的  $\text{CaCO}_3 - \text{MgCO}_3 - \text{CaF}_2 - \text{TiO}_2$  渣系。

焊条直径为  $\phi 3.2$  mm 和  $\phi 4.0$  mm。焊条在 HL-25 电焊条压涂机上压制。

### 2.1 堆焊金属成分与组织设计

热锻模材料均为中高碳合金钢,焊接性能很差。要实现不预热焊接,必须突破传统的中碳中合金范围。经过分析研究和试验,研制的焊条采用低碳高合金系统来解决不预热堆焊这一难题。

因为堆焊金属含碳量很低,要想使耐磨性很高必须有特殊的手段。本焊条中加入大量的合金元素,以期通过形成金属间化合物来提高堆焊金属的耐磨性。

虽然含碳量很低,但由于合金元素含量很高,在堆焊条件下仍能稳定地得到强度很高且韧性极好的低碳马氏体基体。

### 2.2 堆焊金属的主要成分

经测定研制的热锻模堆焊系列焊条堆焊金属的主要成份见表1。

### 2.3 堆焊金属的硬度和机械加工性能

研究的焊条按堆焊焊条国家标准 GB984—85 测定堆焊金属的硬度,结果见表1。

为测定堆焊金属的机械加工性能,用研制的焊条对两块  $150 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$  的 65Mn 弹簧钢板进行对接焊,焊后测量焊接接头的硬度,结果均为 36 HRC 左右。然后直接在铣床上铣削试验,结果堆焊金属和接头均加工顺利,证明堆焊金属焊态具有良好的机械加工性能。

表1 堆焊金属主要成份和硬度

焊条牌号	主要元素成分(%)							堆焊金属硬度(HRC)	
	C	Ni	Mo	Mn	Si	Ti	其它	焊态	480℃ × 2.5 h 时效
KTD-407	$\leq 0.2$	8~10	5~8	2~3	$\leq 2$	1~2	$\leq 1$	28~32	48~52
KTD-417	$\leq 0.2$	10~12	6~9	$\leq 2$	$\leq 1.5$	1.5~2	$\leq 1$	30~35	50~55
KTD-427	$\leq 0.2$	10~14	6~9	$\leq 1$	$\leq 1$	1.5~2.5	$\leq 1$	34~38	56~58

堆焊金属经  $480^\circ\text{C} \times 2.5 \text{ h}$  回火(时效)后,硬度均比焊态升高约 20 HRC,时效硬度效果显著,可满足热锻模的性能要求。

### 2.4 焊条的工艺性能

在厚度为 12 mm 的 65Mn 钢板上堆焊,评定焊条的工艺性能。

施焊表明,焊条引弧和再引弧容易,电弧稳定,飞溅较小,成形良好,脱渣一般,无气孔、夹渣等焊接缺陷,基本满足堆焊工艺性能要求。

用研制的焊条在  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  的

5CrNiMo 和  $\phi 140 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$  的 8Cr3 试块上不预热堆焊,均未发现焊接裂纹,把堆焊层加工平整后经磁力探伤亦未发现裂纹,证明焊条具有极高的抗裂纹能力。

### 2.5 堆焊金属的耐热疲劳性能

热疲劳性能测试是在 Gleeble-150 热模拟试验机上进行的,同时对 5CrNiMo、8Cr3、3Cr2W8 热模具钢作了对比测试,结果见表2。

从测试结果可以看出,研制的焊条堆焊金属具有很高的抗热疲劳性能,特别是经  $480^\circ\text{C} \times 2 \text{ h}$  回火(时效)处理后,比 5CrNiMo 提高 5 倍多。

表2 几种材料产生裂纹的热循环次数

材料	5CrNiMo	8Cr3	3Cr2W8		研制焊条	
			焊态	550℃ × 2h 回火	焊态	480℃ × 2h 回火
热循环次数	3 800	2 600	1 600	3 600	2 800	23 000

## 2.6 堆焊金属的高温硬度及耐磨性

堆焊金属的高温硬度是用 AUK - HF 高温硬度计测量的。温度为 600℃, 负荷为 30 g, 加载时间 10 s。

堆焊金属的耐磨性试验是在 MM - 200 磨损试验机上进行的。载荷为 180 N, 时间为 15 万转, 滑滚复合磨损(滚约占 10%), 结果见表 3。

表3 几种材料的高温硬度和耐磨性

材料	5CrNiMo	8Cr3	3Cr2W8	堆焊金属	
				焊态	480℃ × 2.5 h 回火
高温硬度(HV)	143	198	242	284	349
相对耐磨性	1.0	1.4	1.8	1.6	2.8

可以看出, 研制成的焊条堆焊金属 600℃ 的高温硬度远远高于常用热模具钢。其耐磨性约为 5CrNiMo 的 2.8 倍, 是 3Cr2W8 的 1.5 倍。

## 2.7 堆焊金属的组织

研制成的焊条经测定, 堆焊金属的组织为板条马氏体基体 + 少量的残余奥氏体(图 1), 晶界为网状和颗粒状的金属间化合物(图 2)。

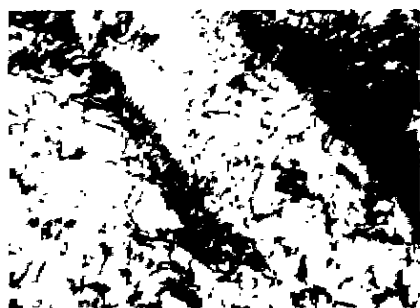


图1 板条马氏体基体焊态组织 100 000 ×

堆焊金属经 480℃ × 2.5 h 回火(时效)后, 板条马氏体基体上析出大量细小的金属间化合物(图 3, 图 4)。

由堆焊金属的组织可以看出, 韧性极好的低碳板条马氏体基体是该系列焊条抗裂纹能力极高的根本原因。而时效时马氏体基体上弥散析出大量的粒状金属间化合物使其硬度和耐磨性极大提高。

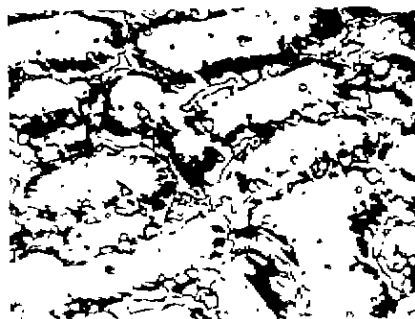


图2 晶界网状和粒状金属间化合物焊态组织 1 000 ×

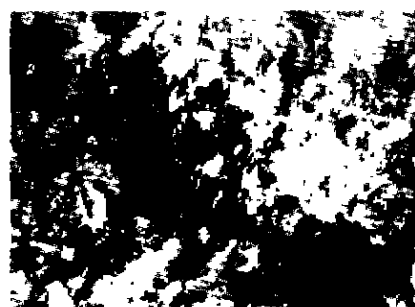


图3 板条马氏体上弥散析出大量金属间化合物时效后组织 100 000 ×

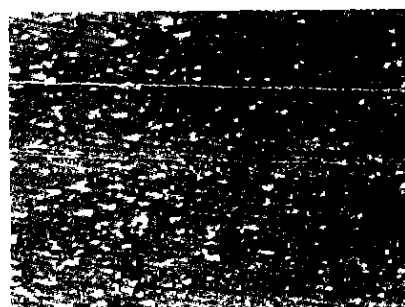


图4 时效析出相的透射电镜暗场像 100 000 ×

## 3 堆焊工艺及应用

### 3.1 用研制的焊条修复汽车连杆热锻模

原模具材料为 8Cr3, 属高碳合金钢, 焊接性很差。焊前要把堆焊部位的氧化膜和油污清理干净, 打磨出金属光泽。

采用  $\phi 3.2$  mm 焊条,直流反接。焊接电流  $I = 120 \sim 140$  A,焊接速度为  $100 \sim 120$  mm/min,焊前不预热(当时现场温度约为  $0^\circ\text{C}$ )。整个施焊过程一次完成,没有发现气孔、夹渣、裂纹等焊接缺陷。

为保证加工余量,堆焊层高出使用平面 2 mm。

堆焊完毕,上铣床加工。加工过程顺利,没有打刀、让刀等现象。

加工后经磁力探伤检查,堆焊部位没有焊接缺陷。检测堆焊层硬度为  $35 \sim 37$  HRC。

加工后经  $480^\circ\text{C} \times 2.5$  h 回火(时效)处理,堆焊金属硬度上升到  $54 \sim 56$  HRC。

这副模具交付使用,锻造 9 012 件,比原模具平均寿命 6 000 件提高了 50%。

### 3.2 用研制的焊条制造两副汽车连杆切边模

在修复连杆热锻模取得经验的基础上,用调质钢代替模具钢作基体,进行堆焊制造模具的试验。

基体采用 40Cr 钢调质处理。模具刃口预先铣深 8 mm。

第一层用  $\phi 3.2$  mm 焊条,焊接电流  $I = 110 \sim 130$  A,第二层以上用  $\phi 4.0$  mm 焊条,焊接电流  $I = 130 \sim 160$  A。仍然不预热,焊后自然冷却。

堆焊后在铣床上加工成形。测得堆焊金属的硬度为  $34 \sim 36$  HRC,经  $480^\circ\text{C} \times 2.5$  h 回火后硬度为  $54 \sim 56$  HRC。

这两副切边模交付使用后,寿命分别达到 1.4 万件和 2.1 万件。

[上接第 10 页]

表 2 热循环前后管接头的抗拉强度<sup>①</sup>

温度	热循环前		5 100 次热循环后	
	拉脱力 /kN	拉脱强度 /MPa	拉脱力 /kN	拉脱强度 /MPa
室温	39.27	580.83	47.62	690.01
350 $^\circ\text{C}$	24.58	335.86	33.87	490.86

①热循环前后室温和高温试样拉脱断裂位置都在不锈钢母材上。

### 3 结 论

(1)在本试验条件下,钛合金/不锈钢螺纹钎焊管接头经 5 100 次热循环后,其密封性能没有发生变化,没有产生表面和内部裂纹。

(2)管接头中各组元在热循环 1 000 次时,其组织和晶粒的尺寸都没有发生变化;热循环次数的增加到

### 3.3 用研制成的焊条修复两副轴瓦压铸模

用研制的热锻模堆焊焊条在某汽车厂轴瓦分厂修复两副轴瓦压铸模,模具材料为 3Cr2W8,磨损失效。堆焊修复后寿命达到 90 万件,比原 20 万件的平均寿命提高了 3.5 倍。

### 4 结 论

研制的热锻模堆焊焊条经测试和生产使用证明:

(1)焊条的工艺性能良好,堆焊工艺简单,不需预热和缓冷等工艺措施,能顺利在 5CrNiMo、3Cr2W8 等热模具钢上堆焊;

(2)堆焊金属的焊态硬度低,具有良好的机械加工性能;

(3)加工后只需  $480^\circ\text{C}$  回火(时效),硬度即可达 54 HRC 以上,耐磨性和耐热疲劳性亦极大提高,能满足热锻模的性能要求;

(4)用研制的焊条修复和制造热锻模(包括切边模、压铸模等),整个工艺简单,无需退火和加工后淬火等工序,周期短,成本低;

(5)用研制的焊条修复和制造的热锻模寿命比原整体模具提高 1~3 倍;

(6)某些模具(如切边模)可用 40Cr 调质后作基体,配合研制成的热锻模焊条堆焊制造,能节约大量的热模具钢。

(收稿日期 2001 06 20)

作者简介: 李创基,1963 年生,大学本科,高级工程师。

5 100 次后,钛合金由钎焊后的  $\alpha'$  型粗大针状组织变为钎焊前的近  $\alpha$  型(或  $\alpha + \beta$  型)等轴细晶粒,有利于提高管接头中钛合金的塑性。

(3)管接头经 5 100 次热循环后,室温和  $350^\circ\text{C}$  的拉脱强度增加了约 20%。

### 参 考 文 献

- 1 P R CCAMARGO. Microstructural Characterization of Titanium to 304 Stainless Steel Brazed Joints. J. WELDING, 1993 (12): 537~544
- 2 张启运,庄鸿寿. 钎焊手册. 北京:机械工业出版社,1999.
- 3 耿洪滨. 热循环对 TC4 钛合金组织和机械性能的影响. 金属学报,1996,32(1):1

(收稿日期 2001 04 18)

作者简介: 杨 静,1967 年生,副研究员。