

碳化钨颗粒-高铬铸铁表面耐磨复合材料的试验研究*

许 斌 张晓辉 杨胶溪

(山东农业大学)

摘 要 为提高农机具的耐磨性,采用铸造表面合金化工艺在铸铁表面获得一层碳化钨颗粒-高铬铸铁复合材料,并研究了影响复合材料质量的因素及其耐磨粒磨损性能。结果表明,对表面复合材料质量最有影响的是铁水的浇注温度;与淬火 65 Mn 钢相比,复合材料的耐磨粒磨损性能提高了 1.8~5.3 倍。田间试验也表明,在灰铸铁表面铸造耐磨复合材料工艺能明显提高农机具的使用寿命。

关键词 表面复合材料 碳化钨颗粒 高铬铸铁 磨粒磨损

由农机具的工作条件可知,磨粒磨损是其主要失效形式。此外,农机具还具有制造精度低、铸件所占比重大、对耐磨层要求深等特点。因此,在价廉材料上熔覆铸造一层表面耐磨材料较为适合农机具的制造。高铬铸铁被认为是良好的耐磨粒磨损材料,其中的 Cr_7C_3 型碳化物在抵抗磨粒微观切削中发挥着主要作用。土壤中的主要磨粒一般是不同类型的氧化硅,其硬度约为 HV 1000 左右,对高铬铸铁来说基本为“软磨粒磨损”,这时如增加材料硬度,便会迅速提高其耐磨性^[1]。碳化钨(WC)硬度远高于 Cr_7C_3 ,而且碳化钨与铁基金属的润湿角为零,易于结合^[2],实现碳化钨颗粒与高铬铸铁的良好复合定能提高材料耐磨粒磨损性能。人们已对不同 Cr/C 比的高铬铸铁做了许多研究^[3~5],而对碳化钨颗粒-高铬铸铁复合材料及其耐磨性的研究报道尚少。因此,本文研究了碳化钨颗粒-高铬铸铁表面复合材料的制造工艺和应用以及复合材料的耐磨粒磨损性能。

1 试验材料和方法

以灰铸铁、球墨铸铁为基体材料,把粒度为 60~100 目的碳化钨、高碳铬铁、润湿剂(主要为灰铸铁粉和熔剂)等合金粉末用聚乙烯醇调成糊状,或涂敷在型芯上、或制成块状,经烘干后装配合箱。采用干砂型铸造,熔炼设备为 2 t 冲天炉和 1 t 感应电炉。用正交试验设计对表面复合材料(简称复合层)进行优选,考查浇注温度($T_{\text{浇}}$)、合金粉剂成分以及铸件与复合层的厚度比(λ)等因素。利用 XJ-16 型金相显微镜、D-MAX 型 X 射线仪和 71 型显微硬度计检测复合层的组织和硬度。耐磨粒磨损试验在 MM-200 磨损试验机上进行,采用轮-瓦接触形式,轮($\phi 40 \times 10 \text{ mm}$)为铸造后外圆磨削,表面约有 2.5 mm 复合层的被测试样,瓦与轮的接触处粘固 200 目氧化铝或碳化硅砂纸,接触面积为轮面积的 $1/6$ 。试验时滑动速度 $v = 0.42 \text{ m/s}$ 。载荷 $F =$

收稿日期:1998-11-24

* 山东省教委资助项目(J96A 54)

许 斌,硕士,副教授,泰安市岱宗大街 61 号 山东农业大学工程技术学院,271018

250~ 1000 N, 采用滴注式润滑, 10 mL /m in HQB-10 号机油。为减少砂粒脱落造成的试验误差, 每滑动 4 m in 更换粘固新砂纸的瓦试样。用分度值为千分之一克的电子天平称量磨损试样。

2 试验结果和分析

2 1 获得良好复合层的较优方案

对于灰铸铁基体的试验选取 5 因素 4 水平进行 $L_{16}(4^5)$ 正交试验^[6] 优选, 考察的因素和水平见表 1, 其中成分因素的水平范围是根据初选时得到的收得率(复合材料元素含量/合金粉剂元素含量)而定, 同时因初选时各因素的交互作用不明显而予以忽略。以复合层与基体的结合质量和复合层表面质量为综合试验指

表 1 以灰铸铁为基的正交试验因素水平表
Tab 1 Factors and levels of orthogonal test based on grey cast iron

水平	因 素				
	A	B	C	D	E
	$T_{\text{浇}}/^\circ\text{C}$	WC/%	Cr-Fe/%	λ^*	润湿剂/%
1	1400	10	60	5	20
2	1360	15	55	8	25
3	1320	20	50	11	30
4	1280	25	45	14	35

* λ 为铸件厚度/粘结硬化后合金粉剂厚度。

标, 前两者的权重系数分别为 0.6 和 0.4。指标得分分配如下: 复合层完全与基体熔合、无夹渣和气孔得 6 分; 完全熔合、但有少量夹渣得 3 分; 否则得 0 分。对正交试验结果的分析表明, 影响复合层质量的因素主次顺序为 A、D、E、B、C; 当 $T_{\text{浇}}=1360^\circ\text{C}$ 、 $\lambda>8$ 时, 可获得满意的复合层; 当 $T_{\text{浇}}=1320^\circ\text{C}$ 时, 增加 λ 和润湿剂含量, 也能得到高质量的复合层。 $T_{\text{浇}}$ 高, 则有足够的热量使合金粉剂熔化和相互扩散。润湿剂中的 Si、B 元素可改善合金粉剂的自熔性, 降低其熔点; 熔剂则可去除合金粉剂表面的氧化物和其它杂质, 使之成为易分离的熔渣。因为 WC、高碳铬铁、灰铸铁粉剂在保存和受热过程中其表面易产生氧化物, 氧化物的存在会恶化铁水和粉剂的润湿, 使复合材料之间的结合强度下降。但润湿剂过多, 会降低复合层硬度。经分析比较, 较优方案为: $T_{\text{浇}}=1360^\circ\text{C}$ 、 $\lambda>8$ 、16%~24% WC、43%~58% Cr-Fe、26%~36% 润湿剂。

在上述试验的基础上, 对球墨铸铁基的试验选取 $L_{12}(3\times2^4)$ 正交表, $T_{\text{浇}}$ 为 3 水平, 其余 4 因素为 2 水平。试验结果证实了影响复合层质量的因素主次顺序与灰铸铁基完全相同, $T_{\text{浇}}$ 起关键作用, 温度过低的铁水不能使合金粉剂熔化。较优方案为: $T_{\text{浇}}=1320^\circ\text{C}$ 、 $\lambda>14$ 、18%~20% WC、50%~55% Cr-Fe、28%~36% 润湿剂。

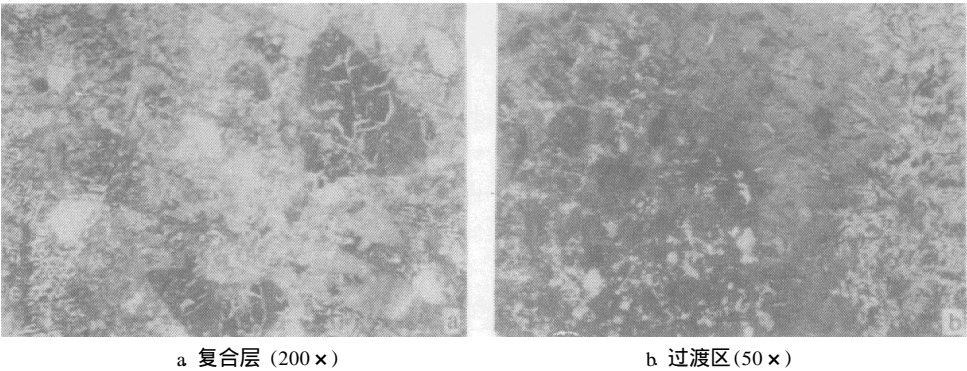


图 1 复合层及过渡区的铸态组织 (SEM)

Fig. 1 SEM of composite layer and transition area under casting

2.2 复合层的铸态组织和硬度

在本试验条件下,可在上述二种铸铁表面得到 3 mm~6 mm 的复合层。扫描电镜分析表明,复合层由白色块状 WC 和高铬铸铁组织组成,即:WC、 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 、马氏体和共晶奥氏体(见图 1 a),这与 X 射线衍射结果相吻合,见图 2。

复合层中的 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 呈菊花状或放射状排列,与其在高铬铸铁中的形态基本相同。复合层与基体间约有 0.2~0.5 mm 因稀释、相互扩散而产生的过渡区(见图 1b),其组织介于复合层和基体之间,有少量的石墨。球墨铸铁基复合层过渡区较薄,其原因是球化处理造成铁水温度下降,使基体与复合层的相互扩散不充分所致。

检测复合层显微硬度发现,表层硬度偏低,之后变化平稳,过渡区的存在使硬度梯度变缓,见图 3。分析认为,表层硬度低的主要原因是由于表层冷速快,部分合金粉颗粒未熔化,使结合强度下降;其次复合层的铸造性能差,表层铸造缺陷多于内部。

2.3 复合层的耐磨粒磨损性能

通过不同磨粒、不同载荷条件下复合层与农机具常用材料 QT 600-3 和 65 Mn 钢的对比磨损试验表明,复合层的摩擦力矩最小,这说明磨粒的犁削作用最轻,这与滑动 500 m 后的磨损失重结果相一致,见表 2。据表 2 计算,当磨粒为氧化铝时,复合层比 QT 600-3 和 65 Mn 钢的耐磨性分别提高 3.7~6.7 和 1.8~3.0 倍;当磨粒为碳化硅时,分别提高 6.3~10.8 和 3.1~5.3 倍。可见,提高磨粒硬度,复合层更耐磨。分析磨损机理认为,造成复合层耐磨性明显优于高硬度淬火钢和球墨铸铁的主要原因如下:1) 复合层经初期磨损后,其中凸出的块状 WC 和菊花状 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$ 等硬质相可有效抵御磨粒的嵌入和犁削,这时的磨损实质上变成了磨粒对硬质相的切削。2) 硬质相与基体结合良好,否则,磨粒的撞击和对基体的切削能使硬质相被“连根拔起”,硬质相的耐磨作用难以发挥。因此,硬质相只有和高强度基体结合牢固,复合材料才能充分发挥出其耐磨潜力,这也是今后研制颗粒增强复合材料所必须解决的关键问题。

2.4 现场应用结果

铧式犁犁侧板后的犁踵是极易磨损件,其底面和一侧面磨损严重。原由灰铸铁表面经冷铸成形,无需机加工。现采用在 HT200 灰铸铁表面铸造 2 mm~3 mm 的 WC 颗粒-高铬铸铁复合层($T_{\text{浇}}=1360^\circ\text{C}$ 、合金粉剂成分为 20% WC、50% Cr-Fe、30% 润湿剂)。经对上述二种犁踵在同等工况条件下(动力为泰山 12 拖拉机、2 铧、壤土、耕深 20 cm、耕地面积 950 亩)进行的两组对比试验结果表明,灰铸铁表面冷铸犁踵和表面合金化铸造犁踵的平均磨损失重分别为 86 g 和 25 g,据此计算,后者比前者的耐磨性提高了 2.44 倍。

灰铸铁冷铸犁踵的市售价格现约为 4 元/只,计算表面复合材料的生产成本,每只需增加 1.4 元。其中,合金粉剂 1.2 元(一只犁踵需约 50 g 合金粉剂,高碳铬铁粉为 7~9 元/kg, WC 粉为 90~100 元/kg,润湿剂为 2~3 元/kg);其它 0.2 元。而使用寿命的增加,更换机件时间

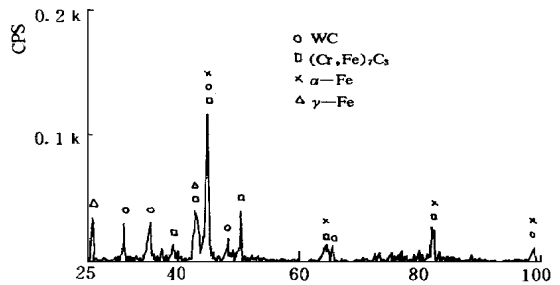


图 2 复合层的 X 射线衍射图

Fig 2 XRD pattern of composite layer

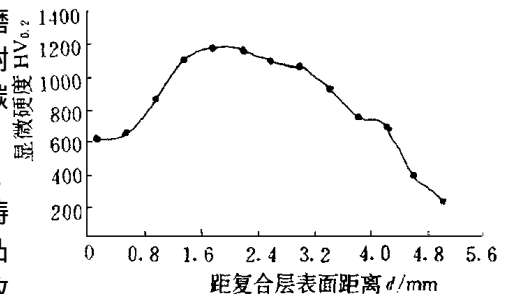


图 3 复合层的显微硬度分布

Fig 3 Microhardness-depth curve of composite layer

的减少,经济效益还是显著的。故采用铸造表面合金化工艺制造农机具有良好的应用前景。

表 2 不同材料在不同摩擦条件下的摩擦力矩和耐磨性*

Tab 2 Friction torque and wear-resistance of different materials with abrasives							
磨粒种类	载荷 F/N	摩擦力矩/ $\text{N} \cdot \text{cm}$			滑动 500 m 后的磨损失重/ mg		
		QT 600-3	65 Mn	复合层	QT 600-3	65 Mn	复合层
氧化铝	250	59~ 69	54~ 69	49~ 59	30	16	4
	500	98~ 127	83~ 98	69~ 88	54	25	7
	750	127~ 167	127~ 157	118~ 147	61	36	13
	1000	157~ 216	167~ 196	127~ 157	138	66	24
碳化硅	250	64~ 83	64~ 74	54~ 64	44	27	6
	500	157~ 172	118~ 137	118~ 127	79	46	9
	750	186~ 206	137~ 167	147~ 157	141	75	12
	1000	216~ 255	186~ 206	176~ 196	318	131	32

* 表中的 65 M n 钢硬度为 HRC53~ 57, 复合层合金粉剂成分为 20 % WC、50 % Cr-Fe、30 % 润湿剂。

3 结 论

1) 铁水的浇注温度($T_{\text{浇}}$)是影响WC 颗粒- 高铬铸铁复合材料质量的最主要因素,厚度比(λ)次之。对于灰铸铁和球墨铸铁, $T_{\text{浇}}$ 1360 和 1320 、 $\lambda > 8$ 和 14, 能获得结合良好、表面平整的复合层。2) 复合材料中除WC 外的相结构与高铬铸铁基本相同, 表层硬度低于内部, 复合材料与基体结合良好。3) 复合材料比淬火 65 M n 钢的耐磨粒磨损性能提高了 1. 8~ 5. 3 倍, 磨粒硬度增加, 复合材料更耐磨, 且田间应用试验效果明显。

参 考 文 献

1 张 清 金属磨损和金属耐磨材料手册 北京: 机械工业出版社, 1991. 63~ 65

2 张正洋 铸渗WC 复合材料的研究 铸造, 1993(4): 18~ 22

3 王克远 研究改善高铬抗磨铸铁性能的工艺进展 机械工程材料, 1990, 8(3): 1~ 9

4 张茂勋, 大城桂作 高铬铸铁耐磨粒磨损特性 机械工程材料, 1991, 15(4): 15~ 22

5 彭晓春 铸态奥氏体高铬铸铁抗磨料磨损特性的研究 西安公路学院学报, 1994, 14(2): 99~ 104

6 何月娥, 杨孝文等 农机试验设计 北京: 机械工业出版社, 1986 256~ 258

Experimental Study on Making the Surface Composite
With WC Particles-High-Chrome Cast Iron

Xu Bin Zhang Xiaohui Yang Jiaoxi
(Shandong Agricultural University, Tai'an, 271018)

Abstract To improve the wear-resistance of farm tools, the surface composites with WC particles-high-chrome cast iron were achieved on cast iron by cast-in-place surface alloying, and the abrasive behavior of the composites was studied using a MM-200 wear tester. The experiment results showed that the main effect on the quality of the composites is casting temperature, and then abrasive wear-resistance of the composites was increased from 1. 8 to 5. 3 times compared with 65M n steel quenched. The field test results also indicated that the technology, making the surface composite with WC particles-high-chrome cast iron, can raise the service life of farm tool considerably.

Key words surface composite, WC particles, high-chrome cast iron, abrasive wear