

WC 硬质合金颗粒堆焊烧损的机理

曲仕尧, 王新洪, 邹增大, 刘雪梅

(山东大学南校区 材料学院, 济南 250061)

摘要: 采用扫描电镜、X 射线衍射及电子探针等测试分析手段, 研究了 WC 硬质合金堆焊过程的熔化烧损特征和机制。试验结果表明, 堆焊过程中不可避免 WC 硬质合金的烧损, 烧损的基本特征是硬质合金边缘的粘结相熔化、碳化物颗粒的增大、单晶 WC 之间的间距增加。硬质合金烧损形式主要有颗粒边缘熔化、溶解烧损、合金元素的扩散和反应烧损。硬质合金烧损的机理为硬质合金边缘的碳化物产生分解, 与胎体金属之间发生元素扩散, 形成具有一定浓度梯度的扩散层, 扩散层外沿原子浓度高的区域发生组织变化, 形成新的化合物, 降低硬质合金的性能。烧损的程度与硬质合金的种类、粒度、含量以及堆焊方法等因素有关。

关键词: 硬质合金; 堆焊; 烧损; 机制; 力学性能

中图分类号: TG112.2 文献标识码: A 文章编号: 0253—360X(2001)02—85—04



曲仕尧

0 序 言

采用烧结 WC 硬质合金机械破碎成不规则形状的颗粒, 用铜基钎料做胎体金属将硬质合金颗粒连接而形成棒状硬质合金复合材料堆焊焊条, 在井下作业中得到广泛的应用。但硬质合金颗粒在堆焊过程中, 常出现硬质合金颗粒烧损, 使其硬度下降, 耐磨性降低。因此要获得性能优良的堆焊层, 必须控制硬质合金的烧损程度^[1,3]。

本文主要针对“套磨铣”工具制造过程中, WC

硬质合金颗粒的烧损现象, 研究硬质合金烧损的影响因素, 探索减少烧损的途径, 为有效地提高堆焊层的耐磨性提供依据。

1 试验方法与材料

试验用 WC 硬质合金材料分别是 YG6A 型、YT769 型烧结 WC 硬质合金, 主要性能与成分见表 1。堆焊层的胎体金属材料主要是铜基钎料, 其主要成分(质量分数, %)为: Cu 49, Ni 10, Zn 余量。

表 1 堆焊材料硬质合金的主要成分与性能

Table 1 Main compositions and properties of cemented carbide

Cemented carbide Number	Type	Main composition (%)					Hardness HRA	Intensity $\rho / (\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	Condition of cemented carbide	
		WC	TiC	TaC(NbC)	Co	Other			Content (%)	Particle size d / mm
1	YG6A	94	—	3	6	—	91.5	14.615.0	60	13
2	YG6A	94	—	3	6	—	91.5	14.615.0	60	13
3	YT769	82.5	4	4	9	—	92	13.013.5	60	13
4	YT769	82.5	4	4	9	—	92	13.013.5	60	35
5	YT769	82.5	4	4	9	—	92	13.013.5	50	35

先将破碎的硬质合金与铜基钎料复合形成直径 68 mm 的棒状焊条, 然后采用氧—乙炔和钨极氩弧焊两种方法堆焊到 45 钢表面。其中钨极氩弧焊的焊接工艺参数为: 焊接电流 $I = 180$ A, 焊接电压 $U = 2530$ V, 焊接速度 $v = 0.51.0$ mm/s, 氩气流量 $Q = 56$ L/min。火焰堆焊采用中性焰进

行。

在 JXA—840 型扫描电镜上, 观察分析各种堆焊材料的显微组织形貌, 用 D/M ax—RC 型 X 射线衍射仪对堆焊材料进行了相结构分析。利用能谱和 EPMA 分析界面的元素分布, 测定界面附近胎体金属中 W 的含量。

测定各种堆焊材料的显微硬度和宏观硬度分别在 DM—400 型显微硬度计和洛氏硬度计上进行。

2 试验结果与分析

2.1 堆焊层硬质合金颗粒烧损特征

图 1 是 YG6A 型硬质合金颗粒烧损前的显微组织, 图 2 是采用钨极氩弧焊堆焊后硬质合金的显微组织。从图 2 中可以看出, 颗粒的心部和边缘都受到了高温的影响, 颗粒的边缘与中心之间由于粘结相 Co 熔化, 导致表面的 WC 单晶游离到熔池中溶解, 增加胎体金属中的 W、C 含量, 形成一严重的位移区域, 在该区域内硬质合金颗粒发生的重结晶, 导致颗粒力学性能, 尤其是硬度和韧性变差。而次表层的 WC 晶粒由于温度的影响, 晶粒密度降低、晶粒尺寸变大, 并发生位移, 使 WC 单晶之间的平均间距增大。通过电子 EPM A 分析表明, 颗粒中元素的扩散非常严重, 在胎体金属中存在大量的 W 元素。这就表明硬质合金的烧损包括硬质合金的熔化烧损和溶解扩散两个过程。在电弧热的作用下, 硬质合金颗粒边缘熔化, 然后元素向胎体金属溶解扩散和胎体金属元素向硬质合金中扩散过程。

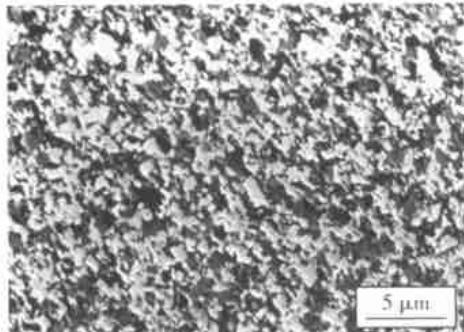


图 1 原始硬质合金颗粒组织特征

Fig. 1 Initial microstructure of cemented carbide

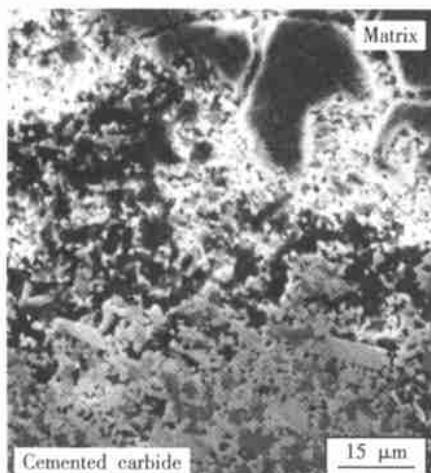


图 2 TIG 堆焊后硬质合金组织特征

Fig. 2 Microstructure of cemented carbide after welding

2.2 硬质合金颗粒度对烧损的影响

图 3 是火焰堆焊条件下, 不同粒度的硬质合金与胎体金属界面附近显微硬度的变化。

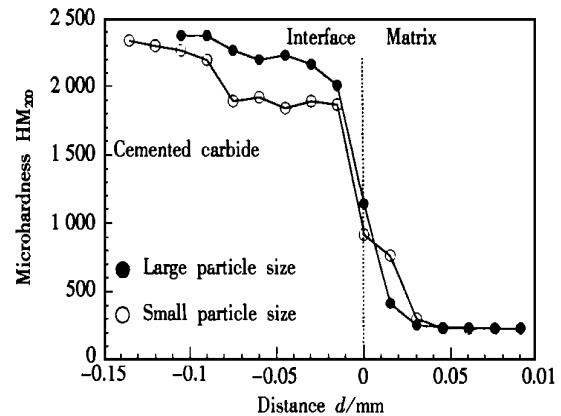


图 3 不同粒度堆焊后硬度的对比

Fig. 3 Effect of particle size on microhardness

由图可见, 不同粒度对硬质合金烧损程度的影响不一样。硬质合金颗粒粒度的增加, 堆焊层硬质合金与胎体金属界面附近。硬质合金的显微硬度下降较小, 表明 WC 颗粒的熔化烧损及溶解扩散的程度降低。产生这种现象的主要原因是硬质合金颗粒的熔化烧损及溶解扩散程度受堆焊熔池的温度以及硬质合金颗粒吸收的热量决定。根据研究表明, 在堆焊熔池中, 一个硬质合金颗粒温度升高 1 °C 所吸收的热量 Q 可以表达为⁴

$$Q = V \cdot \rho \cdot c = \frac{1}{6} \pi d^3 \cdot \rho \cdot c, \quad (1)$$

式中: V 、 d 分别表示一个硬质合金颗粒的体积和直径; ρ 为硬质合金颗粒的密度; c 为硬质合金的比热容。对于相同类型的硬质合金颗粒, 其密度 ρ 、比热容 c 相同。因此在相同堆焊工艺及相同类型的硬质合金条件下, 其热容量决定于硬质合金颗粒的大小。也就是说在堆焊过程中硬质合金颗粒吸收的热量主要取决于颗粒的粒度。因此, 颗粒粒度越小, 其热容量 Q 越小, 颗粒表层的温度也越容易达到粘结相的熔点, 使颗粒越容易产生熔化烧损。此外, 小的颗粒热容量较小, 当颗粒进入堆焊熔池后, 所吸收的能量相对也较小, 熔池的温度相应下降较少, 这将促进硬质合金颗粒溶解后的元素进行扩散。

因此, 对于相同的堆焊工艺及相同类型的硬质合金, 适当增大硬质合金颗粒的粒度, 有利于减少颗粒的溶解扩散式烧损, 提高堆焊层的性能。

2.3 热源温度对烧损的影响

图 4 是相同类型和粒度的硬质合金颗粒, 不同堆焊工艺对堆焊层显微硬度的影响。

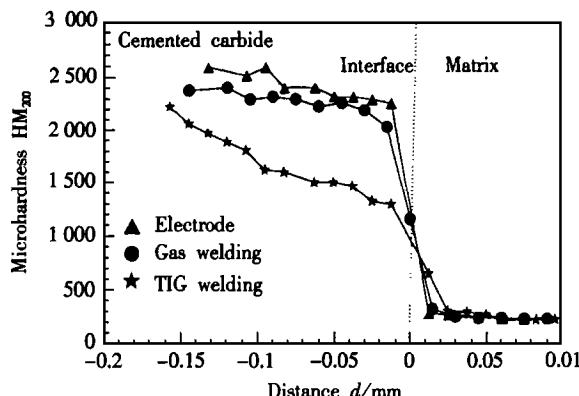


图4 不同堆焊方法对界面附近显微硬度的影响

Fig. 4 Effect of welding method on microhardness

表2 不同堆焊工艺堆焊层中硬质合金烧损的结果
Table 2 Heat damaging results of cemented carbide in hardfacing

Number	Cemented carbide type	Particle size d / mm	Welding method	W content in the binder (%)	Heat damage ratio ξ (%)
1	YG6A	13	①	12.64	11.84
2	YG6A	13	②	14.85	15.79
3	YT769	13	①	8.22	9.97
4	YT769	35	②	9.09	11.02
5	YT769	35	①	6.73	8.15

Note: ①TIG welding; ②Gas welding.

从表可以看出, 热输入量越大, 硬质合金的烧损也越大。尤其对于不规则的合金颗粒温度越高, 颗粒边缘的熔化烧损越严重。

2.4 硬质合金烧损机制

对于铸造硬质合金的复合粉末在喷焊过程的烧损实际上是它的分解^[6], 即

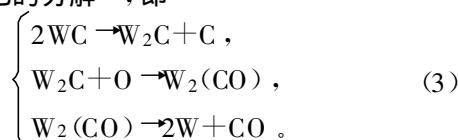


图5是烧结硬质合金堆焊后堆焊层的X射线衍射图, 在堆焊层中出现脆性的 $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ 相, 因此应用上述理论并不能完全解释烧结硬质合金在高温热源作用下的扩散烧损过程。而根据研究表明, 烧结硬质合金的烧损包括以下熔化、溶解烧损和扩散、反应扩散烧损两个过程。

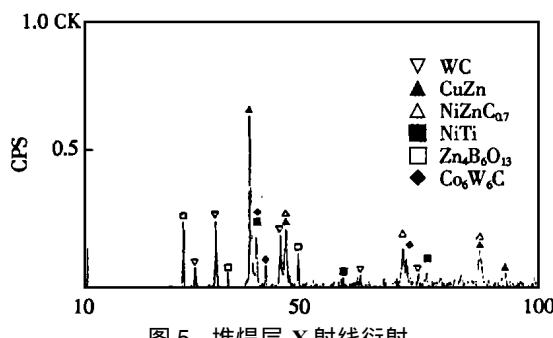


图5 堆焊层X射线衍射

Fig. 5 X-ray diffraction spectra of hardfaced layer

由图可见, 堆焊后硬质合金的显微硬度在界面处明显下降, 而胎体金属的显微硬度略有上升。此外, 根据文献[5]的研究表明, 硬质合金颗粒的烧损程度可以用式(2)计算

$$\xi' = \left[\frac{\xi}{(1-\xi)} \cdot \frac{k}{1-k} \right], \quad (2)$$

式中: ξ' 为WC颗粒的烧损率, 即单位含量WC硬质合金颗粒所损失的W的含量(质量分数, %); ξ 是扫描电镜能谱分析中测得的胎体金属中平均W的含量(质量分数, %); k 为复合堆焊材料中胎体金属的质量百分数。用实际测得的堆焊层中W的含量计算WC硬质合金颗粒烧损结果见表2。

2.4.1 硬质合金的熔化、溶解烧损

这个过程主要是: ①在高温热源的作用下, 边缘的部分硬质合金以及胎体金属熔化形成熔池, 在熔池中热量从合金的表面迅速向内部传递, 形成一定的温度梯度, 能量较高颗粒开始溶解, 产生较大区域的液相; ②WC颗粒与液态Ni、Co元素的附着力较大, 能被它们很好地润湿, 因此液态金属Ni可以在WC晶粒间流动, 从而进入硬质合金的碳化物之间; ③硬质合金颗粒的密度比胎体金属大, 硬质合金颗粒在液态熔池中下沉, 在颗粒的边缘, 液态胎体金属的侵入, 形成边缘的颗粒与内部颗粒的密度差, 心部颗粒的下沉速度比边缘大, 形成心部颗粒与边缘的分离。

2.4.2 硬质合金扩散烧损

溶解后的碳化物颗粒在高温的作用下, 元素产生扩散形成扩散烧损。这一过程主要有碳化物的分解、元素扩散而形成的烧损和碳化物的直接反应扩散烧损两种形式。

(1) 碳化物的分解、扩散烧损。硬质合金发生分解后, 在界面附近形成具有一定浓度的扩散层(见图6)。其机理主要是: ①在高温热源的作用下, 硬质合金的边缘熔化并溶解, WC分解为W、C; ②硬质合金中的W、C等元素向胎体金属中扩散, 胎体金属中的Ni元素向硬质合金中扩散, 形成具有一定浓度梯度的扩散层; ③扩散层中发生组织转变, 形成

脆性相 W_2C 或 η 相。

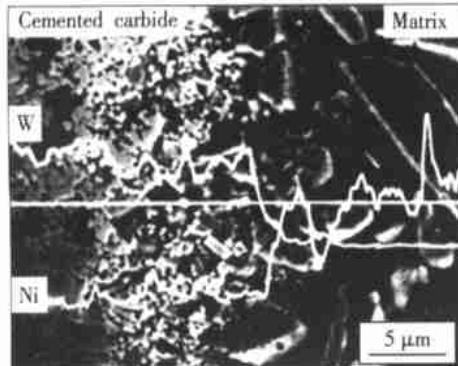
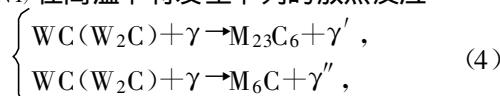


图 6 堆焊层界面元素的分布

Fig. 6 Distribution of W and Ni in hardfaced layer

(2) 硬质合金的反应扩散式烧损 对于铸造硬质合金在激光热源的作用下, 其碳化物与胎体金属中的 γ -Ni, 在高温下将发生下列的放热反应



式中: γ' 和 γ'' 分别为失去部分合金元素的 γ -Ni。对于烧结硬质合金在 TIG 或火焰堆焊时, 同样存在上述反应, 因此这一过程主要是: ①在热源的作用下, 硬质合金中的粘结相 Co 元素的扩散流失, 导致 WC 或 TiC 的支持粘连被破坏, 形成 WC 或 TiC 晶粒; ②碳化物与胎体金属中部分元素发生反应, 形成脆性相 Co_6W_6C ; ③这些脆性相溶解于胎体金属中, 在冷却过程重新析出。在界面附近形成剥离层(见图 7), 从而导致硬质合金颗粒的扩散式反应烧损。

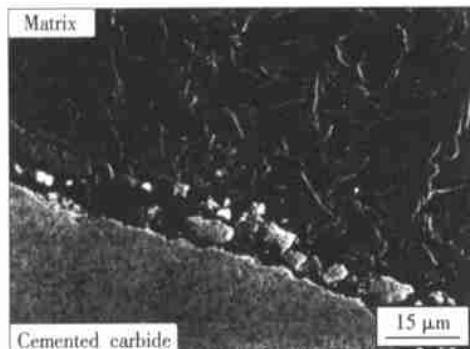


图 7 堆焊层界面形貌

Fig. 7 Microstructure of interfacing in hardfaced layer

3 结 论

(1) 烧结 WC 硬质合金在堆焊过程不可避免产生烧损现象, 烧损的主要特征是粘结相的熔化、边缘颗粒尺寸增大、WC 单晶平均间距增加。烧损后堆焊层显微硬度降低, 甚至可能导致界面的剥离。

(2) 烧结硬质合金的烧损程度与硬质合金的种类、颗粒度和热源温度有关。在相同堆焊工艺参数条件下, 适当增大硬质合金的颗粒度, 可以减少硬质合金的烧损; 堆焊热源温度越高、高温停留时间越长, 硬质合金的烧损越严重。

(3) 硬质合金的烧损主要是溶解和扩散过程, 其机理为胎体金属中 Ni 和 WC 颗粒中 W、C 等元素发生相互扩散, 形成扩散层, 并有浓度梯度存在, 扩散层外沿原子浓度高的区域发生组织变化, 形成脆性相 Co_6W_6C 和其它化合物, 这些化合物在熔池中游离或溶解于胎体金属中, 并重新析出, 导致硬质合金颗粒硬度的降低。

参考文献:

- [1] 浅利孝一, 男鹿芳雄, 神谷修. タソグステソカーバイド系材料による硬化肉盛溶接[J]. 溶接技术, 1989, 37(1): 129134.
- [2] 张树生 王志平, 董晓强. 碳化钨喷焊层耐磨性的研究[J]. 沈阳工业大学学报, 1991, 13(1): 4351.
- [3] 骆德阳, 等. WC 在堆焊层中存在形态与耐磨性的关系[C]. 第八届全国焊接会议论文集(第 I 册), 1997. 503506.
- [4] 李力军 杨瑞林, 张立坡, 等. 影响碳化物硬质颗粒堆焊材料耐磨性的冶金因素[J]. 硬质合金, 1991, 8(4): 4551.
- [5] 孙大谦, 高南, 曹书云. WC-Co 喷涂粉末研究[J]. 粉末冶金材料, 1989, (3): 38.
- [6] 吴新伟, 曾晓雁, 朱蓓蒂, 等. 镍基 WC 金属陶瓷激光熔覆涂层的熔化烧损规律[J]. 金属学报, 1997, 33(12): 12821288.

作者简介: 曲仕尧, 男, 1963 年出生, 副教授, 天津大学在读博士生。主要从事焊接冶金、陶瓷连接和计算机应用等方面的研究, 发表论文 20 余篇。

(编辑: 董卫国)

书讯: 本刊编辑部现有 1998 年度和 1999 年度《焊接学报》增刊, 每本定价 20 元(含邮费)。另外, 没有预订 2001 年度《焊接学报》的读者可直接与本刊编辑部联系, 每期定价 15 元(含邮费)。如有需要的读者, 可通过邮局将书款汇至《焊接学报》编辑部。

联系人: 闫秀荣 地址: 哈尔滨市和兴路 111 号《焊接学报》编辑部 邮编: 150080