

硅电极电火花表面改性的研究

张守魁, 王丹虹, 梁延德

(大连理工大学, 辽宁 大连 116024)

[摘要] 以工业纯硅为电极, 通过电火花放电对试样进行表面改性处理。电火花设备型号为 EDM7125, 工作液为普通煤油, 电极材料含硅 99.6%, 工件材料为 45 钢和球铁。采用扫描电镜及金相显微镜对试样表面形态进行了研究, 对试样表面进行了能谱分析, 对试样进行了耐蚀及表层结合强度等试验。结果表明: 试样加工后表面形成一层含硅超过 16% 的合金层。电火花加工球铁石墨基本未脱落, 但石墨周围易产生或扩展显微裂纹。高硅层结合强度非常高, 进行永久变形时, 无剥离和裂纹产生。而且, 经电火花加工过的试样耐蚀性得到极大提高。另外, 电火花加工, 当参数合理时, 可达到粉末混入加工的目的, 试样可获得好的表面质量。

[关键词] 电火花加工; 硅电极; 耐蚀性; 混粉加工技术

[中图分类号] TG156.8

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)02-0029-03

Surface Modification by Electrical Discharge Machining using Industrial Si as Tool Electrode

ZHANG Shou-kui, WANG Dan-hong, LIANG Yan-de

(Dalian University of Science and Technology, Dalian 116024, China)

[Abstract] The surface modification by electrical discharge machining (EDM) using Si as tool electrode for 45 steel and nodular iron was presented. The experimental equipment is EDM7125, and common kerosene is used as dielectric fluid. The tool electrode material is industrial Si with purity 99.6%. The microstructure of the workpieces surface was analyzed by OM and SEM. Furthermore, quantitative analysis of element content has been carried out by EDS. The corrosion resistance and the cohesion strength of the modified layer were also studied. Results of experiments show that the modified layer with high Si content, nearly reaches 16%, occurs on the EDMed workpieces surface. In addition, on the whole, graphite doesn't be flushed away. But one feature found on EDMed surfaces is a little of cracks, especially cracks are easy to initiating and propagating at graphite/matrix interface. The modified layer has high bonding strength, and disbanding and crack doesn't occur after permanent distortion. And the sample has better corrosion resistance. However, a large number of Si powders occur between the two polarities when utilizing Si as tool electrode, especially positive polarity machining. Besides, appropriate machining parameters will obtain better surface quality.

[Key words] EDM; Si electrode; Corrosion resistance; Powder-mixed technology

0 引言

材料表面改性方法很多, 如高能束(激光束、电子束、离子束)表面改性、化学热处理、喷涂各种涂层材料、物理气相沉积、化学气相沉积、电火花表面改性等。而先进的表面处理新技术一直是研究、应用的热点^[1-4]。

电火花液中放电表面改性处理是近年来发展起来的电火花加工新技术之一。它直接利用火花放电时释放的能量, 将一种材料涂覆或扩散到另一种材料表面, 形成合金化的表面层, 从而改善被加工工件的表面性能。如利用 WC、TiC 烧结体电极对材料处理后, 材料表面性能得到明显提高^[5-6]。

本研究采用硅电极对试样进行电火花液中加工。

1 试验

电火花设备型号为 EDM7125, 采用普通煤油工作液, 电极材料为含硅 99.6% 的工业纯硅, 工件材料为 45 钢和球铁。

采用 JSM-5600LV 型扫描电镜及金相显微镜对试样表面形态进行了研究。对试样表面进行了能谱分析。对试样进行了耐蚀及表面层结合强度试验。

2 结果与讨论

2.1 材料改性加工

球铁试样电火花处理后的扫描电镜照片见图 1。加工条件: 脉冲宽度 30 μ s, 脉冲间隔 40 μ s, 峰值电流 3A, 正极性加工。

[收稿日期] 2006-10-21

[作者简介] 张守魁(1959-), 男, 辽宁大连人, 高级工程师, 主要从事复合材料、表面技术研究。

从图1可知放电痕很浅、光滑,石墨基本未脱落,但有沿石墨产生或扩展的显微裂纹,在放电痕边部(箭头所指处)可见基体被撕割的痕迹(一些平行纹痕),而且未明显见文献[7]中电火花加工表面出现的熔融材料。

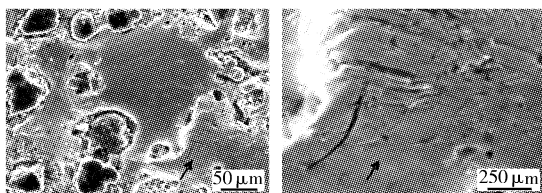


图1 电火花处理后的球铁试样表面形态

Figure 1 SEM micrograph of a machined surface nodular iron

硅是半导体材料,除了其电阻大还因其热物性,而导致放电点周围热量大,从而使其消耗量大。所以,经多晶体硅电极电火花加工后,试样表面硅含量显著提高。从试验结果看硅不是以涂覆形式而主要是扩渗到另一种材料表面。表1、表2是一组能谱分析结果。未经电火花处理的球铁试样,其硅含量都较低,而经电火花处理的球铁试样表面的硅含量超过16%,测试点随机采取,部位1、部位2为其中的两点。图2是经电火花处理的球铁试样基体的能谱分析,其硅含量是16.91%,加工条件同图1。

表1 电火花加工前工件表面能谱分析

Table 1 EDS analysis result for the unEDMed workpiece surface

元素	质量分数/%	原子数分数/%
C	0.11	0.50
Si	1.75	3.41
Fe	98.14	96.10

表2 电火花加工后工件表面能谱分析

Table 2 EDS analysis result for the EDMed workpiece surface

元素	质量分数/%		原子数分数/%	
	检测部位1	检测部位2	检测部位1	检测部位2
C	0.27	0.27	1.08	1.04
Si	16.91	19.37	28.57	32.07
Fe	82.82	80.36	70.35	66.89

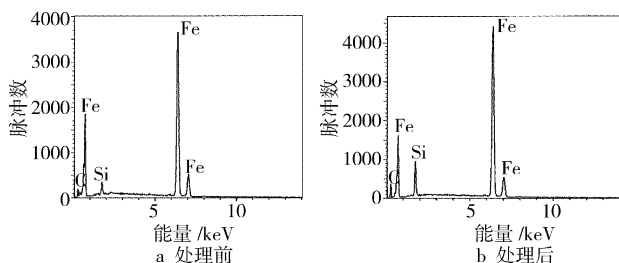


图2 电火花处理前后球铁试样的能谱分析

Figure 2 EDS analysis result for the nodular iron and after EDM

显微裂纹的产生原因是:1)放电时极高的热应力作用及以后的快速冷却;2)高硅降低了材料的韧性;3)石墨应力集中。这3点导致被加工试样表面易在石墨周围产生或扩展显微裂纹。而放电痕边部基体被撕割的痕迹,则说明放电痕心、边部蚀除状况是有所区别的,边部蚀除要困难些。

对45钢电火花处理也获得类似的结果。试样经电火花处理后的高硅层厚度在数微米以上,其结合强度非常高,用锤击进行永久性变形,无剥离和裂纹产生。

试样表面加入硅,提高了电极电位,表面形成的这一层含硅物质具有极高的耐蚀性。将试样在30%硝酸溶液中浸放1h,经电火花加工过的试样不腐蚀,而未经电火花加工的试样腐蚀严重。图3是45钢试样腐蚀后的情况,加工条件:脉冲宽度30μs,脉冲间隔40μs,峰值电流1A,正极性加工。试样下方未经电火花加工,腐蚀严重,呈深色,腐蚀掉的厚度为90μm。试样上方经电火花加工,不被腐蚀而呈白亮,但白亮表面上有少量深色蚀点,这是因为电极表面有凹坑造成被加工试样表面有相应未加工的地方(凸出),这些地方不耐蚀。

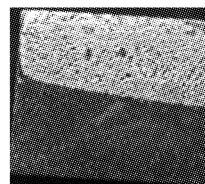


图3 45钢试样腐蚀后的情况(上部电火花加工,下部未加工)

Figure 3 The etched surface for 45 steel (the upside of the workpiece with undergone EDM process, the downside of the one without undergone EDM process)

2.2 电火花精加工

混粉电火花加工技术已得到发展、应用^[8-11]。用硅电极加工试样,极间会充满大量的硅粉末,尤其是正极性加工时。这除了电极材料本身特性外,还由于正极表面放电点远比负极表面放电点大,负极的电流密度远远大于正极电流密度,因而负极放电点的温度必然高于正极放电点的温度。这样,经过一次放电,负极表面便蚀除较多的材料,形成较深的放电蚀坑;而正极表面则由于热量相对分散,只能蚀除较少的材料,形成浅而平的放电蚀坑。本试验条件下,正极性加工时,当加工参数合理,可达到粉末混入加工的目的。微细的半导体粉末的介入降低了极间介质的抗击穿强度,粉末在静电场的作用下容易聚集,并参与放电过程,形成串联放电使得放电通道得到扩张,能量密度因而减小,使得熔池趋向于变浅。图4是45钢经电火花加工后的表面金相形态,加工条件:脉冲宽度30μs,脉冲间隔40μs,峰值电流1A。图4a和图4b工艺上的区别仅是极性的差异。正极性加工形成相互重叠的圆状放电痕,放电痕呈白亮;负极性加工形成翻白边的蚀坑。正极性加工时整个加工面放电更分散、均匀,每个放电通道能量很小,且放电通道顶点呈圆状,电流密度均匀,因此,每个放电通道蚀除量很小、很均匀,在金相显微镜下就看到了白亮相互重叠的圆状放电痕。负极性加工比正极性加工时整个加工面放电的分散及均匀程度要差,且放电通道顶点呈圆锥状,电流密度更大,因此,每个放电通道蚀除量较大、不均匀,在金相显微镜下就看到了白亮翻边包围着较深的蚀坑。

3 结论

1) 采用工业纯硅电极对试样进行电火花加工,试样表面硅含量获得明显提高,可超过16%,硅主要是以扩渗形式进入

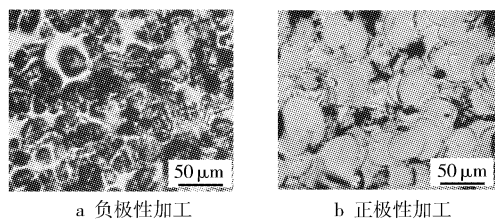


图 4 45 钢试样电火花加工表面形态

Figure 4 Micrographs of the EDMed 45 steel

到另一种材料表面。

2) 经电火花加工过的试样耐蚀性得到极大提高。将 45 钢试样在 30% 硝酸溶液中浸放 1h, 经电火花加工过的试样不腐蚀, 而未经电火花加工的试样腐蚀严重, 腐蚀掉厚度 90μm。

3) 电火花加工球铁石墨基本未脱落, 但石墨周围易产生或扩展显微裂纹。

4) 试样经电火花处理后的高硅层厚度在数微米以上, 其结合强度非常高, 进行永久变形无剥离和裂纹产生。

5) 本试验采用硅电极对试样进行正极性加工时, 当工艺参数合理, 试样可获得良好的表面质量, 达到粉末混入加工的目的。

[参 考 文 献]

- [1] 孙勇, 薛玉君, 李济顺, 等. 电沉积耐磨减摩纳米复合镀层的研究进展[J]. 表面技术, 2006, 35(4): 5-8
- [2] 方景礼. 21 世纪的表面处理新技术[J]. 表面技术, 2005, 34(5): 1-5

- [3] 方景礼. 21 世纪的表面处理新技术[J]. 表面技术, 2005, 34(6): 1-3
- [4] 刘国洪, 匡同春, 胡松青, 等. 超声波电镀的研究进展[J]. 电镀与涂饰, 2006, 25(3): 47-50
- [5] Shunmugam M S, Philip P K. Improvement of wear resistance by EDM with tungsten carbide P/M [J]. Wear, 1994, 171(1-2): 1-5
- [6] Toshio MORO, Akihiro GOTO, Naotake MOHRI, et al. Surface modification process by electrical discharge machining with TiC semi-sintered electrode [J]. Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 2001, 67(1): 114-119
- [7] Lee Soo Hiong, Li XiaoPing. Study of the surface integrity of the machined workpiece in the EDM of tungsten carbide [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 139: 315-321
- [8] Mohri N, Saito N, Higashi M. A new process of finish machining on free surface by EDM methods[J]. Annals of the CIRP, 1991, 40(1): 207-210
- [9] Wong Y S, Lim L C, Iqbal Rahuman, et al. Near-mirror-finish phenomenon in EDM using powder-mixed dielectric [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 79(1-3): 30-40
- [10] 孟庆国, 孟庆鑫, 赵万生. 混粉电火花加工技术在粗加工中的应用研究[J]. 电加工与模具, 2003, (1): 14-16
- [11] Lin Yan Cheng, Yan Bing Hwa, Huang Fuang Yuan. Surface modification of Al-Zn-Mg aluminum alloy using the combined process of EDM with USM [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 115(3): 359-366

(上接第 5 页)

2.0g/L Na₂WO₃, 2.0g/L EDTA 二钠。

2) 铝合金微弧氧化陶瓷膜层的基本相为 α-Al₂O₃ 和 γ-Al₂O₃, 两相比例随电解液电导率的提高而增大。

3) 陶瓷层生长速度随电解液体系电导率的提高而增加, 但当电导率超过一定限度后, 表面质量降低。

[参 考 文 献]

- [1] 贺子凯, 唐培松. 溶液体系对微弧氧化陶瓷膜的影响[J]. 材料保护, 2001, 34(11): 12-13
- [2] 张欣宇, 方明, 吕江川, 等. 电解液参数对铝合金微弧氧化的影响[J]. 材料保护, 2002, 35(8): 39-41
- [3] Wang Y K, Sheng L, Xiang R E, et al. Effect of additives in electrolyte on characteristic of ceramic coatings formed by micro-arc oxidation [J]. Surface Engineering, 1999, 15(2): 109-111
- [4] 闫凤英, 石玉龙, 周璇. 微弧氧化电解液配方改良的初步研究[J]. 电镀与涂饰, 2003, 22(1): 5-7
- [5] 李建中, 邵忠财, 田彦文, 等. 不同含磷电解液在微弧氧化过程中的作用[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2004, 24(14): 222-225
- [6] 王亚明, 蒋百灵, 郭立新, 等. 磷酸盐系溶液中钛合金微弧氧化涂层生长与组织结构[J]. 中国有色金属学报, 2004, 14(4): 548-553
- [7] 张淑芬, 张先锋, 蒋百灵. 溶液电导率对镁合金微弧氧化的影响[J]. 材料保护, 2004, 37(4): 7-9
- [8] 李均明, 蒋百灵, 井晓天, 等. 溶液电导率对 LY12 铝合金微弧氧化陶瓷层的生长速度和致密度的影响[J]. 材料热处理学报, 2003, 24(1): 63-65

图 4 不同电解液中微弧氧化的正向电流曲线

Figure 4 Positive current curves of MAO in different electrolytes

短了平衡氧化阶段, 同时 α-Al₂O₃ 的比例提高。但过大的电导率将会造成离子弧能量的局部集中, 增大膜层被烧蚀的可能性。

表 2 电解液在不同温度下的电导率

Table 2 Conductivities of phosphate electrolytes under different temperatures

电解液	不同温度下的电导率/($\times 10^3 \mu S \cdot cm^{-1}$)									
	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃	45℃	50℃	55℃	60℃	
1 [#]	5.5	6.1	6.8	7.3	7.9	8.5	9.1	9.8	10.5	
7 [#]	9.9	11.1	12.3	13.4	14.6	16.7	17.5	18.5	19.8	
9 [#]	13.6	14.9	16.5	18.3	19.6	20.9	22.7	24.1	25.8	

3 结 论

1) 对于 6063 铝合金, 兼顾陶瓷膜成膜速度和膜层质量的适宜磷酸体系电解液配方为: 14.0g/L Na₅P₃O₁₀, 0.5g/L NaOH、