

表面活性剂在电火花成型加工中 应用的理论分析

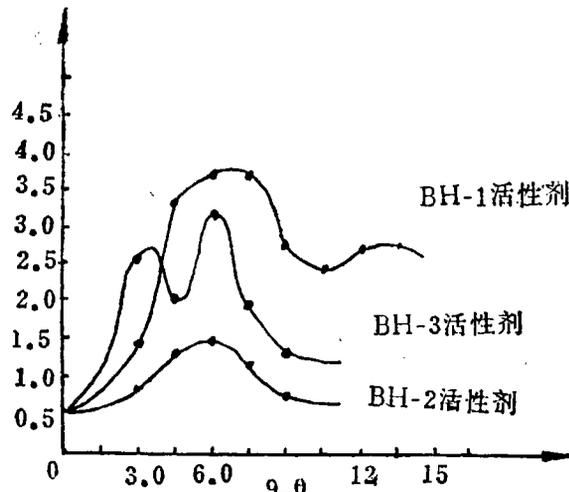
胡立新 王小明 刘志方

(机械工程系)

摘要

在实验的基础上证明,电火花成型加工中使用适当的表面活性剂能有效地提高工件的蚀除速度,并着重系统地分析了表面活性剂的应用原理。

在线切割加工的乳化液中,必须使用适量的表面活性剂才能使油水均匀乳化,并且保持较长时间的稳定性,这是大家都清楚的。实验证明,在电火花成型加工的煤油工作液中,使用一定量的表面活性剂,对提高工件的蚀除速度也有明显的效果。可是,目前国内试验还极少,近年来我们结合教学进行了大量实验,图一是在煤油加工液中分别使用BH-1、BH-2和BH-3等表面活性剂进行加工的一组数据,与不使用表面活性剂的纯煤油加工相比加工速度都有明显的提高,深究其提高的原理,是与使用表面活性剂后极间介质的物理化学性质分不开的。



图一 表面活性剂对工件蚀除速度的影响

本文于1990年6月13日收到

在电火花加工中，作为工作液介质的碳氢化合物所分解的游离碳以及从两电极所蚀除下来的微粒，所组成的是个复杂的系统，在这个复杂的系统中，既含有尺度 $>0.1\mu\text{m}$ 的粗分散系统和尺度为 $0.1\mu\text{m}$ —— 1nm 的胶体系统，也含有尺度 $<1\text{nm}$ 的分散系统。就对电火花加工的影响来说，其中的粗分散系统和胶体系统是最为活跃的因素，因为粗分散系统和胶体系统的微粒，相对分散系统来说要巨大得多，容易引起加工电场的畸变和“搭桥”，微粒容易聚沉，使加工不稳定，甚至影响加工的正常进行。如何消除这些不良因素，这是我们在加工中要引起重视的问题。如果在工作液中，合理的使用一些表面活性剂，却能使两极间的胶体系统和粗分散系统的物理化学性能发生重要的变化。

一、在固——液界面形成的保护膜，增加了系统的稳定性

从胶体化学知道，物质的微粒尺寸愈小，比表面（分散度）就愈大；而比表面愈大，体积的表面能也就愈大。表一以 1cm^3 的水为例，说明随着体积尺度变小，而体积表面能相应增大的情况。

从表一可以看出， $1\mu\text{m}^3$ 微粒的粗分散系统所具有的体积表面能为 1mm^3 微粒的所具有体积表面能的1000倍。这样大的体积表面能，在系统中的布朗运动，能使系统的微粒保持相对的动力学的稳定。但微粒的布朗运动却增加了相互碰撞的几率，撞碰的结果，一方面是借助粒子之间具有的相互引力，另一方面微粒要自动地降低自身的表面自由能。这两方面的因素都使得电火花加工中极间所蚀除的微粒具有自动地由细变粗，最后趋于聚沉的趋势，使加工变得不稳定，容易发生二次放电，使工件蚀除速度降低，甚至烧伤两极表面。

如果在系统中，添加一些表面活性剂，却能使极间的电蚀物变得不容易聚沉。这是由于表面活性剂的分子（或原子、离子）碰撞在电蚀物的固体表面时，由于它们之间的相互作用，使得表面活性剂的一些分子（或原子、离子）停留在固体表面上，造成这类分子（或原子、

表一 立方体形的粒子在分割时表面能大小的变化

立方体边长 (cm)	分割后的 立方体数	总表面积	比表面（分散度）	0℃时水的单位体 积表面能 (J)
1	1	6 cm ²	6 cm ⁻¹	4.6×10^{-5}
1×10^{-1}	10^3	60 cm ²	6×10^1 cm ⁻¹	4.6×10^{-4}
1×10^{-2}	10^6	600 cm ²	6×10^2 cm ⁻¹	4.6×10^{-3}
1×10^{-3}	10^9	6000 cm ²	6×10^3 cm ⁻¹	4.6×10^{-2}
1×10^{-4} (1 μm)	10^{12}	6 cm ²	6×10^4 cm ⁻¹	4.6×10^{-1}
1×10^{-5} (0.1 μm)	10^{15}	60 cm ²	6×10^5 cm ⁻¹	4.6
1×10^{-6} (0.01 μm)	10^{18}	600 cm ²	6×10^6 cm ⁻¹	46
1×10^{-7} (1nm)	10^{21}	6000 cm ²	6×10^7 cm ⁻¹	460

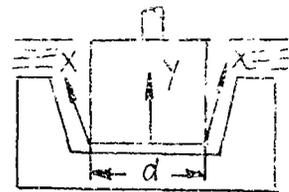
离子)在固体表面上的浓度比在液相中的浓度大,这种现象称为吸附。而这种吸附,随着固体微粒的比表面越大,吸附现象越显著。这些被吸附在固体微粒上的表面活性分子(或原子、离子),在固体微粒表面上形成一层单分子膜,这种单分子膜具有一定的强度,实际上起着一种保护作用,它把固体微粒隔开,使其均匀分散,防止微粒之间相互吸引形成更大的粒子而聚沉。在线切割加工的乳液中,必须通过表面活性剂才能使油滴均匀分散在水中(水包油型O/W)或水滴均匀分散在油中(油包水型W/O)使乳化剂保持稳定,这些都是已经得到充分证明的。

表面活性剂的这种作用,与工业上制造微细粉末时,使用表面活性剂作为助磨剂的作用原理是相同的。例如淀粉、豆粉之类,水磨要比干磨细得多,为什么干磨(不加助磨剂)的效果最低?因为在粉碎过程中,颗粒度逐渐减小,比表面逐渐增大,使体系具有很大的表面自由能,处于热力学高度不稳定状态,在一定的温度和压力下,体系的表面自由能有自动减小的倾向。在没有表面活性物质存在的情况下,体系只能靠比表面自动变小,即颗粒度增大,以降低其表面自由能。因此,若想提高粉碎程度,防止颗粒重新变大,得到更细的颗粒,必须加入适量的助磨剂,以降低其表面自由能,而维持尽量大的比表面。又如炸药粉碎过程中,若有表面活性物质存在,则它能很快地定向排列在固体颗粒表面上,防止固体聚结变粗。

二、使工作液粘性降低,增加了极间电蚀物的喷出量

为了提高加工能量的利用率,对于极间加工的蚀除物必须及时喷出加工区,才能减少二次放电的机会,防止工件烧伤,提高工件的加工速度。

如图二所示的电火花加工中,设在放电间隙中心处产生电蚀物是气体时,因放电压力,电蚀物气体从X方向,Y方向喷出。此时,侧面间隙比底面放电间隙要宽阔,所以在放电部位产生的电蚀物气体就会直接沿X方向,Y方向喷出,可以认为由X、Y两个方向喷出的量决定了电火花加工的生产速度,而在相同的电参数及工作液浓度条件下,电蚀物喷出量Q是由下式决定的。



图二 电蚀物喷出方向

$$Q = \frac{1 \cdot l^3_{max}}{12\eta} \cdot \frac{P_1 - P_2}{h} = \frac{4d \cdot P \cdot l^3_{max}}{12\eta \cdot h} \dots \dots \dots (1)$$

Q——每单位时间从间隙喷出加工液的量(厘米³/秒);

l——工件(电极放电面积)周长,4×d(厘米);

l_{max}——放电间隙(厘米);

P₁ - P₂ = P——压力差(达因/厘米²);

1公斤/厘米² = 10⁶达因/厘米²;

η——工作液粘度(泊),水为2×10⁻²,煤油为10⁻²;

h——加工深度(厘米)。

从上式可以看出,在其它参数不变的情况下,工作液的粘性愈低,由于喷出时所需克服

的摩擦力愈小，所以喷出的电蚀物就愈多，则加工速度就愈高，特别是在小间隙范围内的电火花加工，及时喷出分散在极间的电蚀物就显得更加重要。

如果在工作液中，使用上述的一些表面活性剂，就能使工作液的粘性降低。实验证明，石腊油对水的界面张力为 $40.6 \times 10^{-3} \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ，若加入适量的表面活性剂如油酸后，界面张力可降为 $31.05 \times 10^{-3} \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ，又如苯和 $0.01 \text{mol} \cdot \text{l}^{-1} \text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{SO}_4\text{Na}$ 水溶液的界面张力可随滴加入十六醇而降为零的程度。

工作液界面张力的降低，是因为表面活性剂分子总是由亲水的极性部分和亲油的非极性部分组成。当它溶入工作液介质中以后，根据极性相似相溶规则，活性分子的非极性部分倾向于留在油中，而极性部分倾向于翘出油面或朝向极性的水中，每个表面活性剂分子都有这种倾向，必然造成多数表面活性剂分子倾向于均匀分布在气—液及固—液（即工作液与两极间）界面上，并整齐地取向排列，形成吸附层。此时，界面是油与表面活性剂的界面，由于极性与非极性互相排斥，所以使加有表面活性剂工作液的表面张力大大降低，从而使工作液粘性也降低。

从实验还知道，使用表面活性剂时，浓度不宜过大，根据吸附的Gibbs公式：

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{Kc}{1 + Kc} \dots\dots\dots (2)$$

一般以每公升煤油不超过5—7克为宜。式中 Γ 代表吸附量， Γ_{∞} 为饱和吸附量， K 是经验常数，与溶质性质有关，若用 c 代表活性剂在工作液中的浓度，则由(2)式可以绘出 Γ — c 曲线图三。

当浓度很稀时， $1 + Kc$ 接近于1，于是(2)式变为

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} Kc$$

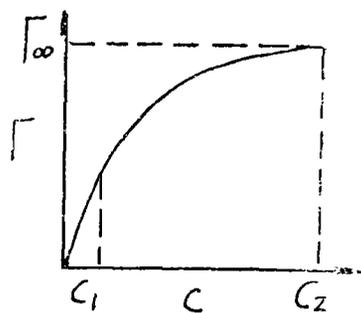
这时吸附量与浓度呈线性关系。在图三中，浓度小于 c_1 ，所以工件蚀除速度提高得很快。可是，当浓度很大时，又变为

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{Kc}{Kc} = \Gamma_{\infty}$$

这时吸附量不再随浓度的增加而增加，即工件蚀除速度不再随浓度的增加而提高，从图三曲线变化可以说明这一点。

表面活性剂所需的量极少，主要是由于表面吸附层极薄，有人做过实验，他把不足一茶匙的橄榄油放入湖面上，观察到油很快在水面上铺展开来，油复盖在水面上的面积约有三亩，而且油面平滑如镜。经过估计，水面上油层厚度约为 $2.4 \mu\text{m}$ ，相当一个橄榄油分子的长度。

这种极薄的表面吸附层只需很少的一点表面活性剂就能使整个固—液界面均匀分开和复盖，形成一层复盖层。这时，即使再增大浓度，表面也不能容纳更多的分子，即吸附达到最大值(Γ_{∞})，因此表面张力不会再降低。

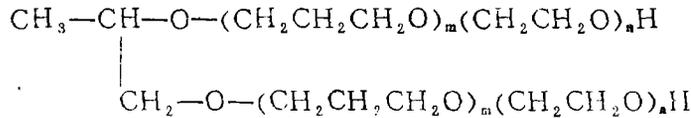


图三 Γ — c 曲线图

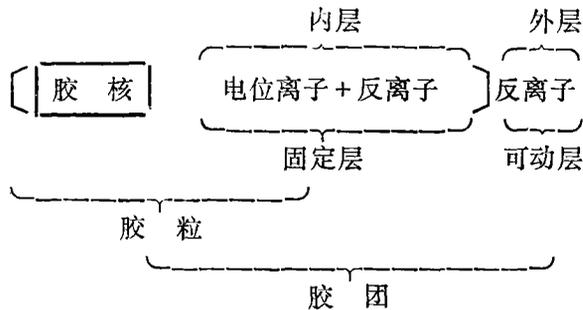
三、导电离子的存在，增大了极间有效距离

表面活性剂种类繁多，应用也极其广泛，因此按它的应用来分类，将是十分困难的，因为一种表面活性剂往往兼有几种功能。所以普遍认为，以它的结构来分类比较合适，其中可以分为阴离子型表面活性剂，阳离子型表面活性剂，高分子型表面活性剂，非离子型表面活性剂和两性表面活性剂等五类。

在上述前两种表面活性剂中，由于本身存在导电离子，在电场的作用下，使工作液介质更加容易击穿形成放电通道，这是不言而喻的。另外，一些高分子表面活性剂，它的分子量往往在几千以上，有时高达数十万，如聚氧乙稀聚氧丙稀二醇醚的分子式为：



结构模型可表示为：



这样大而复杂的分子结构，由于胶核与外层电子的吸引力极小，在外电场的作用下，这种表面活性物质也很容易离解而形成脉冲放电。

另外，象四氯化碳这种表面活性剂被热解作用形成的氢和碳的离子，以及碳氢化合物工作液中分解出来的氢气和碳素，根据佛隆肯 (ФРМКУН) 理论可以知道，这一热解作用会促使碳的分子吸附氢分子，并把氢分子“撕裂”成原子，而氢原子还可进一步被碳夺取一个电子成为正离子，而碳则为负离子。

从以上三方面都可以知道，使用表面活性剂后，能使得电火花加工的工作液中存在一定数量的导电离子，从而使得极间放电距离增大，有利电蚀物的排除。

再之，表面活性剂还会使得加工中的电蚀物带上相同性质的电荷，使得电蚀物微粒间互相排斥，防止了微粒间互相吸引变粗而引起聚沉，也增加了加工的稳定性的，这对提高加工速度及加工表面质量都是极为有利的。

参 考 文 献

- 1、〔日〕井上洁·放电加工的原理·帅文伦，于学文译·国防工业出版社，1983；
- 2、陈宗淇，戴闽光·胶体化学·高等教育出版社·1984；

- 3、姚允斌、裘祖楠·胶体与表面化学导论·南开大学出版社·1988;
- 4、刘志方·添加剂对电火花加工的影响机理〈电加工〉·1989第4期;
- 5、刘志方·添加剂对电火花加工影响机理研究·第六届全国电加工学术年会论文集·1989;

Analysis of the Application of the Surfactant on EDM

HU Lixin Wang Xiaoming Liu Zhifang

ABSTRACT

Based on the experiment, it is proved on EDM that appropriate application of surfactant can effectively increase the velocity of electro-machining of workpiece. And the principle of surfactant applying is analysed mainly and systematically.