

# 电火花沉积技术及其应用

昆明理工大学材料冶金工程学院 (云南 650093)

王建升 王华昆 钟毅

李勇 张玉新

## 一、概述

金属表面电火花沉积技术是近期发展起来的新技术,是在传统工艺基础上发展起来的新工艺,它具有较强的实用性。电火花沉积工艺是将电源存储的高能量电能,在金属电极(阳极)与金属母材(阴极)间瞬间高频释放,通过电极材料与母材间的空气电离,形成通道,使母材表面产生瞬间高温、高压微区;同时离子态的电极材料在微电场的作用下融渗到母材基体,形成冶金结合。由于电火花沉积工艺是瞬间的高温—冷却过程,金属表面不仅会因迅速淬火而形成马氏体,在狭窄的沉积过渡区还会得到超细奥氏体组织。电火花沉积工艺有别于焊接、喷镀或元素渗入等工艺,简单地讲,是介于它们中间的工艺,是兼有焊接等工艺的一些特点,又有热输入量小,沉积层与母材有冶金结合等独特的优点。电火花沉积工艺方法是由新型实用技术电火花沉积(Electron—Spark Deposition,简称ESD)设备把电极材料沉积在某种基体金属和合金上。ESD设备功率强大,旋转电极、氩气保护,能够获得均匀的沉积层,能达到的实际沉积层厚度

通常范围是3~300 $\mu\text{m}$ 。经过电火花沉积技术处理的金属沉积层具有较高硬度及较好的耐高温性、耐腐蚀性和耐磨性。电火花沉积技术不仅有效地改善金属的表面性能(如硬度、耐磨性、抗腐蚀性、导热、导电性能等),与其他常用的表面处理工艺(如淬火、热喷涂、堆焊、电刷镀、表面渗氮等)相比,还具有以下特点:

(1) 设备简单,造价低。电火花沉积是在氩气保护中进行的,不需要特殊的、复杂的处理装置和设备。目前国产的ESD设备既有便携式的(900W),也有移动式的(1400W),由于工艺设备简单,使用灵活,成本较低,因此易于推广。

(2) 用途广泛。沉积对象无大小限制,一般几何形状的平面或曲面均可进行处理,既可对设备进行表面沉积,也可对零件进行局部沉积或修补。

(3) 沉积层与基体的结合非常牢固,一般不会发生剥落。由于沉积层是电极和工件材料在放电瞬间高温高压条件下重新合金化而形成的合金层,沉积层与基体间的结合属于冶金结合,结合强度明显高于其他表面涂层工艺。

(4) 电火花沉积处理不会使工件退火或变形。

夹杂物和气孔使强化层的机械性能下降,在多次放电的热应力和机械作用下强化层会出现碎裂和脱落。在氩气保护下,形成的强化层较均匀,可获得性能稳定优良的强化层。图7表明不同沉积气氛下沉积层厚度与时间的关系。

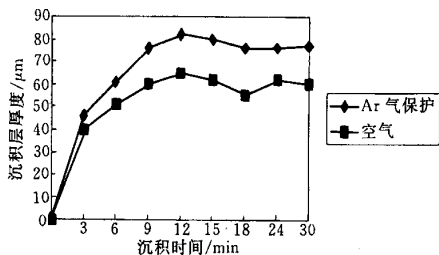


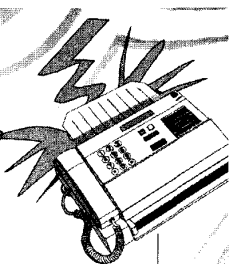
图7 不同沉积气氛下沉积层厚度与时间的变化曲线

综上所述,最佳强化时间应当根据放电能量、强化电压、放电频率和在氩气保护下,对强化层厚度影响的试验结果,进行优选确定。

## 4. 结束语

电火花沉积是一项表面强化的新工艺,对钛合金零件表面实施电火花沉积硬质合金,使钛合金表面获得了新的特性。有效地解决了钛合金零件对磨副表面的粘接损坏,提高了抗磨损性能。为航空、航天工业钛合金材料的应用,提供了一项良好的工艺保证。采用不同的电极材料对钛合金零件表面进行电火花沉积强化,可以获得不同的表面特性,通过试验选出不同的耐磨配副,使钛合金零件更加适用于不同的工作条件。

(收稿日期:20031114)



虽然电火花沉积时在放电瞬间能达到使电极材料熔化、汽化的高温,但因放电时间极短,放电脉冲间隔较长,沉积过程中传入基体金属的热量非常少,热影响区也很小。因而工件心部可保持常温或升温很低,无组织和性能变化,工件不会产生变形、咬边和局部退火现象,也无残余应力。

(5) 沉积层厚度容易控制。沉积层厚度可根据沉积参数和沉积时间进行调整。

(6) 耗能少,材料消耗低,如以提高耐磨性为目的的表面沉积,可选用 YG、YT 或 YW 类硬质合金;以修复磨损表面为目的的沉积处理可选用碳素钢、紫铜等材料作为电极。

(7) 表面粗糙度也可通过沉积参数等因素调节,获得不同的工艺效果。电火花沉积处理后工件可作最终工序使用,即使要求加工,加工余量也很小,只需用油石、锉刀等手工工具进行钳工修理即可,可在生产现场操作,不需拆卸被修复件,省时省力。

(8) 操作方法容易掌握,不要求技术等级高的专业人员;不会产生有毒气体、液体等环境污染物,噪声小。

电火花沉积技术存在的主要问题及其发展趋势:对电火花的理论研究尚不充分,还没有形成完整的理论体系,已经提出的理论具有较大的局限性,需要进一步的修正和完善;电火花沉积操作均为手工操作,因此沉积层的质量很大程度上取决于操作工人的技术水平和责任心,沉积层的均匀性差,也限制了沉积工艺在某些场合的使用。若能生产出机械化、自动化甚至用微机控制的电火花沉积设备,则大大提高电火花沉积工艺的稳定性、可靠性,大大提高电火花沉积的生产效率;电火花沉积设备功率总的来说还是属于小功率设备,沉积层相对来说也较薄,我们应研制出沉积层厚度达到几毫米级的大功率沉积设备,使电火花沉积效果更好,用途更广;最佳沉积参数和电极材料的选择也尚待研究改进;继续深入研究沉积的机理,提高沉积层的质量和沉积效率,研究不同电极材料的形成规律、特性、组织结构、相结构和应力分布以及沉积层的均匀性和连续性与功率能量的关系,在此基础上更进一步地研究沉积层的特殊性能。

## 二、电火花沉积技术的应用

首先,要根据用途选择具有导电性能且较容易的沉积电极材料。选用 WC、TiC 系列硬质合金作为电极材料,经沉积后沉积层表面硬度可达 HV 1 200~1 500 以上;选用 WCr 合金作为电极材料沉积 45 钢,可使耐磨性提高 4 倍;WC 电极材料在钢的表面形成的沉积层加热到 800~1 000℃,硬度基本不变,可提高材料的红硬性;选用铜棒作电极材料,可取断丝锥修补和填平拉痕,使拉痕部位形成以铜为主的新的合金。

其次,根据被沉积的工件材质、形状、工作环境、要求和电极材料,选择合适的沉积参数和沉积时间,对于一般工件沉积宜选用大功率、高电压、中频率进行粗加工,以获得较厚的沉积层,然后再用小功率、低电压、高频率进行精加工,从而提高表面的均匀性和降低表面粗糙度。单位面积涂覆以 2~3 min/cm<sup>2</sup> 为宜,沉积时间短会造成涂层厚度不均匀,沉积时间过长,沉积层表面出现“瘤”状突起,同时表面呈暗灰色。通常正常沉积后的表面呈均匀细致的白亮带。

### 1. 应注意的几个问题

沉积前先用汽油或丙酮清洗工件表面,去除油垢和氧化皮。

(1) 将接地线的夹子与工件(负极)联结,电极材料(正极)固定在沉积枪的夹头上,选好合适的沉积参数,然后同氩气连接,最后合上电源开关,启动沉积枪的按钮,开始工作。

(2) 工作时电极与工件表面稍微倾斜,不宜对工件的棱角部位,以免烧坏工件刀口。

(3) 工作时电极移动速度力求均匀,以便获得高质量的表面沉积层。

(4) 观察和判别沉积过程的变化,一般沉积初期放出大量火花,当变为微弱火花时或基本无火花放出,沉积层已经基本形成,最终形成的沉积层应该是细致均匀的白亮带。

### 2. 应用范围和实例

电火花沉积工艺可用来沉积设备的表面,在塑料模具、压铸模具、挤压模具、恶劣环境下工作的飞轮、叶轮、轧辊、机床部件、精密机械部件的表面沉积及修补已得到成功应用。

(1) 铝合金压铸模具的沉积

# ① 铝合金压铸模具型芯的沉积，见图 1。

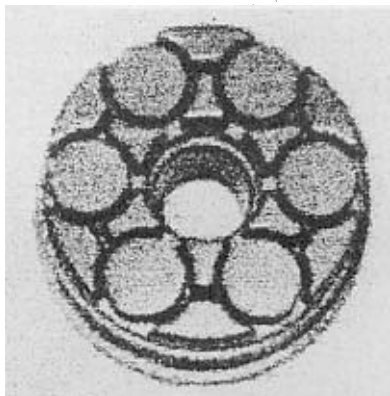


图 1 沉积后的铝合金压铸模具型芯

为了提高铝合金压铸模的抗热疲劳性和抗冲蚀性，在由 H13 材料制成的铝合金压铸模具型芯的表面上进行电火花表面沉积金属陶瓷，电极材料为 WC—Ti，强化处理时需要 2 天，沉积层硬度可达到 HV1 500，为了使强化后的表面粗糙度达到客户的要求，后处理工艺可用油石研磨，客户评价为：脱模性好，寿命得到提高。

## ② 铝合金压铸模具（内燃机齿轮端盖）的沉积，见图 2。

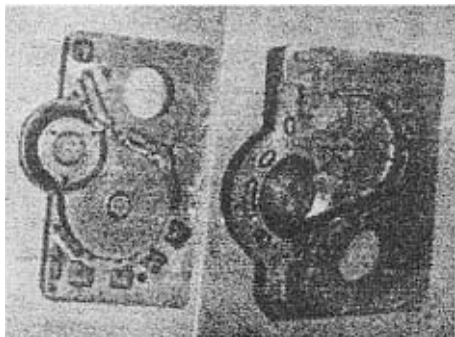


图 2 沉积后的铝合金压铸模具（内燃机齿轮端盖）

由 3Cr2W8V 制造的铝合金压铸模具（内燃机齿轮端盖），同样为了提高抗热疲劳性和抗冲蚀性，在其表面沉积 WC 电极材料，经过 4 天的强化处理，使沉积层硬度可达到 HV1 500，后处理工艺用油石研磨，处理后大幅度提高了模具寿命，同时，产品（铝合金端盖）表面质量好。模具寿命由压铸 1~2 万件提高至 8 万件。

(2) 电机叶轮的表面沉积 如云南铜业股份制酸厂一个直径 500mm 的水轮发电机不锈钢叶轮，价格 12 万元人民币，在含石英砂的环境下工作，使用寿命为一个雨季。2000 年 10 月经过 5 天的沉积处理，用电火花沉积设备在其表面沉积一层 WC 电极材料，获得了足够的耐磨性和耐蚀性，同时硬度也得到提高，使用到现在还没有报废，其寿命大大提高，带来巨大的经济效益。

(3) 滚轮表面的沉积 如图 3，2002 年 4 月，我们为云南铜业科技发展股份有限公司的滚轮进行了沉积处理，在其表面沉积一层 WC 陶瓷电极材料，表面层硬度达到 HV1 400，寿命提高了 4 倍。客户评价：减少运行和维修费用，降低了生产成本，获得了一定的经济效益和社会效益。

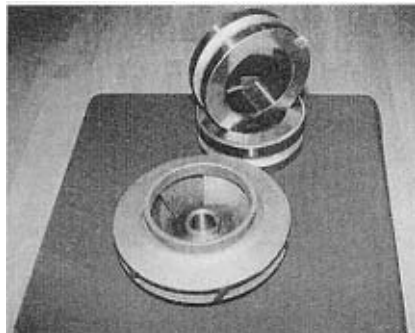


图 3 沉积处理后的滚轮

(4) 模具的修补 如图 4 所示，拉伸模（铁桶）因圆角过渡处磨损拉毛，造成制成品划伤，用电火花沉积强化 TiC 电极材料，经过 3 天的工时处



图 4 拉伸模（铁桶）

理，用油石研磨修正、抛光，提高了模具的表面耐磨性和寿命。板材与模具不易焊合，提高了制成品质量。

(收稿日期：20030918)