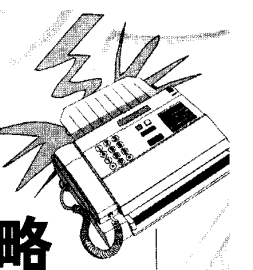

电火花线切割放电能量的控制策略

北京迪蒙恒达机电技术有限公司 （100083） 赵晋胜

火花放电加工的本质，是电能转化为热能，蚀除主要由金属键构成晶体的材料之过程。

高速走丝电火花线切割机床（H-WEDM）对工件材料去除加工，必须以“工件材料加工后的表面完整性指标（变质层厚度、显微裂纹深度、显微硬度、电解程度、表面粗糙度、磨耗比）”为纲，以相关材料的理化特性（元素及含量、比热容、熔化热、汽化热）为依据，设定放电加工工艺参数（脉冲电压、脉冲电流、脉冲宽度），精确控制放电能量即控制火花放电对材料产生的热作用，使 H-WEDM 加工的产品优质、高效。

金属材料的热处理学说表明：根据不同的目的，将材料加热到适宜的温度，经保温，随后用不同的方法冷却，以改变内部组织（或部分内部组织如表层组织），从而获得所要求的性能。热处理后的高品质金属材料，在 H-WEDM 加工过程中会出现再淬火和电化学腐蚀现象，使金属材料性能下降。实验证明：再淬火和电化学腐蚀程度与放电能量和工作液离子浓度呈正比关系，放电能量的影响居首位。

H-WEDM 采用钼丝（Mo，熔点 2 526℃，沸点 4 800℃，比热容 0.66kJ/kg·K）作为电极材料，以实现对金属材料的火花放电加工。钼丝损耗，是影响 H-WEDM 加工性能的最重要的因素之一。实验证明：钼丝损耗与放电能量呈正比关系。放电能量的影响大于机械磨损或工作液品质的影响。钼丝脆化或不均匀变细（为黑斑状）发生断丝，放电能量不匹配导致的过热作用是罪魁祸首。

在铝（Al，熔点 660℃，沸点 2 500℃，比热容 0.215kJ/kg·K）合金材料的加工实践中发现，放电蚀除产物——氧化铝屑，大量附着、堆积在钼丝及导电块上，由于氧化铝屑呈电阻性，因而造成钼丝对导电块的放电切割，使导电块迅速报废。直径不断增长的钼丝使放电间隙状态恶化，以致放电加工无法进行。在分析研究铝合金材料的理化特性及放电现象的基础上，调整放电能量、工作液浓度、机械结构和加工工艺，有效地解决了铝合金加工工艺问题。在影响铝合金加工的诸多因素中，放电能量的影响最大。

在聚晶金刚石复合片（PDC）的加工实践中发现，PDC 的切割面出现聚晶金刚石（PCD）和硬质合金（WC）分层现象，严重影响了 PDC 的性能（如磨耗比指标），对该现象产生的原因国内外均开展了深入的研究。经过针对 PCD 生产各阶段工艺过程和 PDC 中的两种主要材料的理化特性差异（导热、导电、熔化汽化热值）展开深入研究，并对比观测低速走丝线切割机（L-WEDM）和激光机（LBM）对 PDC 的加工过程和加工结果，进一步发现分层现象是由于放电能量对理化特性相差甚远的两种材料的过热影响所至。通过调整脉冲电压幅值、减小脉冲宽度、增大脉冲电流峰值，减少工作液的离子量，改变伺服跟踪速率使间隙状态由动态趋于稳态，使放电能量可控聚焦于 PCD 切割面，实现了快速放电切割，不对材料产生破坏的优良工艺效果。

实验室中对相同材料按照熔化和汽化热值施加不同的放电能量，对比其结果发现，后者对宏观工艺效果的贡献远大于前者。铝合金材料的加工结果，表现最为明显。实验结果证明，火花放电时，汽化热对金属材料蚀除产生的热现象，与经典物理学描述的固体材料之“升华”现象相一致，是 H-WEDM 去除加工之理想的工艺过程。

实验室中对相同材料使用同一放电能量与不同品牌、不同性质的工作液配伍加工，对比其结果发现，加工工艺效果的差异较大。浸润性强、团粒组织小、离子浓度低、理化性能稳定的工作液，加工工艺效果好，新型水基工作液尤为突出。实验结果显示，放电能量的精确控制应充分考虑工作液的影响。

在 H-WEDM 加工实践中发现，若要精确控制放电能量，必须对机械部分综合治理。高速运动的钼丝产生的自由振动、弹性挠曲漂移、张力变化对放电加工产生的不利影响；导轮和轴承因换向而改变钼丝的运动轨迹对放电加工产生的不利影响；工

基于 LIGA 技术的微细电火花加工

中国科学院高能物理研究所 （北京 100039） 彭良强

随着众多消费产品向“轻、薄、短、小”方向的发展，微细加工技术日益成为新产品研发中的最重要组成之一，基于微细加工技术的微型机电系统（MEMS）已经成为众多研究机构和企业竞相投资的热门领域之一，其产品遍布工业、农业、医疗、通讯、航天、国防等领域。微细加工技术的来源有两类：一类是以微电子工业中的光刻技术为核心发展、引伸出来的，例如体硅加工、表面硅工艺、LIGA 技术等，具有批量化制作的特点，其结果往往是全新产品，如硅压力传感器、汽车安全气囊用的加速度计、喷墨打印机的喷嘴；另一类是由通常的特种加工发展而成，例如激光加工、电火花加工等，一般为单件加工，其结果常常是对现有产品的改进、提高，如纺织用的喷丝板。

微细电火花加工由于其适应范围广和非接触加工的特点，已日益成为一种有前途的微型机械制造方法。采用 LIGA 技术高精度地批量制造具有复杂形状和高深宽比的微细电火花工具电极，将 LIGA 技术和微细电火花加工技术二者的优点有机结合起来，能够高效率地进行复杂形状的微细电火花加工。本文对 LIGA 技术和基于 LIGA 技术的微细电火花加工技术作一简单介绍。

1.LIGA 技术现状

LIGA 技术一词源自德语 Li thograph

作液进入导轮的轴承室，造成导轮早期报废对放电加工产生的不利影响，是综合治理的重中之重。必须改变设计理念，恰如其分地准确定位各元器件的功能、作用，除冗增需，使其各司其职，尽其所能，量力而行，协同运作。

综上所述：①放电能量对 H-WEDM 加工工艺性能的影响重大，控制了放电能量就能更好地控制 H-WEDM 的加工性能。精确控制放电能量，是根据不同材料的固、液、气相变温度，控制放电能量产生的热加工过程，达到最小改变被加工材料理化性能、降低钼丝损耗的目的。②精确控制放电能量是一个系统工程，其工艺性能依存于 H-WEDM 的设计理念、制造水平、关键元器件的质量、钼丝和工作液的品位。

放电能量的计算和控制：

某种工件材料放电加工时所需的热量 Q，可由下列公式计算：

$$Q = C \cdot W \cdot T$$

式中 C ——工件材料比热容，4.1868J/kg·K

W ——工件蚀除部分的重量，g

T ——工件蚀除时所需达到的温度，℃

由此可得出放电加工所需的电参数值。

在计算中，公式中的“W”为单个脉冲一次放电蚀除工件材料的重量，并应随着“表面粗糙度值”调整。还应考虑下列约束条件：

（1）脉冲电压应为满足放电条件的最小值。工作液中火花——电弧伏安特性曲线示出，极具危害性的长电弧出现的概率与电压的幅值、工作液离子浓度呈正比关系。

（2）脉冲电流的平均值不应超出钼丝能承受的直流电流值（直径 0.18mm 约为 4A）。

（3）脉冲宽度越小，极性效应显示的良好状态和“升华”现象越明显。脉冲宽度应依据功率开关器件的性能条件和放电回路分布参数条件选取。

遵循放电能量控制策略研制的 H-WEDM 及其高频脉冲电源，通过加工用量居冷作模具钢首位的 Cr12MoV 等合金钢材料，航空、航天、汽车等制造业大量使用的如 LF、LY、LD、LC 等铝合金材料，IC 模具应用最为广泛的硬质合金（WC）材料，PCD、CBN 等超硬材料，均显示出优良的工艺性能。

（收稿日期：20031114）