便携式短电弧切削技术的研究

新疆短电弧科技开发有限公司 （乌鲁木齐 830011） 周碧胜

便携式短电弧切削设备及关键放电技术和短电弧切削机床的研究成功，将从根本上改变世界难加工导电材料加工方法不足的被动局面，从而实现“让世界不再有难加工导电材料”的夙愿和梦想。

同时，随着难加工材料应用的日益广泛，现场加工技术的应用也快速提到了每个企业的日程。为了更好地解决这一世界性技术难题，本团队研制成功的便携式短电弧切削技术，使电加工技术又有了一个新的路径来服务于特种加工行业（难加工导电材料），便携式短电弧切削装置的研制已列入2009年国家和新疆维吾尔自治区高技术发展计划项目，现就该技术的基本放电机理及技术特点介绍如下。

1. 短电弧放电理论的探讨与假说

（1）大多数情况下，便携式短电弧切削放电是同态、异态随机适应的逐次或同步进行的组合放电方式，即火花或峰值短电弧放电，是一种新型的混合放电状态，是通过连续密集的自适应的放电群组形成的随动放电现象。而在未受激发状态下，是不会放电的，不存在放电电子、质子流受激发逃逸崩漏的放电现象。

（2）便携式短电弧放电过程包含有：均衡放电、平坦放电、过放电、增量放电、微小放电单元放电、慢电子轰击、快电子轰击、放电电流激活、电子流密度调制以及高度电热量聚集等复杂的电热过程。

（3）在短电弧放电过程中，任何一次短电弧放电都会产生大量强电子的逃逸和少量惰性质子的崩溃，由此而产生大量的工件材料的被切削和少量工具电极的损耗。同时，任何一次短电弧放电都会带来大量电子和质子的消亡，从而形成废屑或其他状态，而这个消亡的数将与失去的材料质量中的电子和质子数相同相当。

（4）在闭合电回路里，每一次放电后消耗的能量，都会在固定电场力的作用下得到完全补充；即每一次放电崩漏或结束后，都会在外电场的作用下形成新的能量补给进入下一轮可能的放电状态。

（5）在闭合放电回路里，高度的冷热巨变会在阴阳极表面产生微热电流，该电流增强了磁吸附粘结效应，从而影响脱屑的流畅，产生磁吸附粘结效应和热粘结效应；同时，便携式短电弧切削过程中，正电子质子与负电子的相互吸引产生加工过程的磁吸附粘结效应。

其中，磁吸附粘结效应是指短电弧加工时由于直流电磁场作用，正电子质子与负电子的相互吸引，产生加工过程的粘结，从而使熔化的金属一部分在未冷却的情况下被吸附到工件和工具电极表面的现象。热粘结效应是指短电弧加工时由于热作用使熔化的金属一部分在未及时冷却的情况下粘结到工件和工具电极表面的现象。

（6）在便携式短电弧放电过程中，高度聚集的放电点或区，为拓展运动轨迹通道快速运动形成分子热运动，而整个通道要保持最低能量的平衡，即通道均衡原理，因此放电通道即放电回路的快速平衡迫使点区高聚集区形成一次或多次的聚集脱离，从而形成放电加工。

（4）外观质量检查 在堆焊过程中应随时检查堆焊层的外观质量，包括焊道成形、有无裂纹、气孔、夹渣以及咬边等焊接缺陷，如有缺陷产生应及时处理。

（5）焊后检查 焊后要进行外观检查、尺寸检查和堆焊层质量检查，在确认无焊接缺陷和堆焊层有足够的加工厚度的情况下，才能进行焊后热处理。热处理完成后对辊面进行车削加工（留出后道磨削加工余量），之后进行表面硬度检查、最终尺寸检查、外观检查和超声探伤（UT）检查（含辊径的重新检测）。堆焊层的渗透探伤（PT）或磁粉探伤（MT）检查在支撑辊最终机械加工完成之后进行。 MW （20091012）

在闭合短电弧放电回路里，由于瞬时的局部不通畅，通过高聚集熔化使整个通道恢复常态，保持闭合或断开回路的最低（能量）运动能量值。

在整个放电回路中应保持一种均衡的最低能量状态，从外部和内部看回路是静态的，而由于有放电点区的出现，必须解决放电点区的高聚集问题，只能通过瞬时放电后回到原有的状态来解决。

在短电弧放电回路中任何一个环节或点，当出现电流密度超过临界电流密度值时，就会出现过热、放电、短路等能量的转变，这种现象也可能是由于电子的过度聚集而产生的，也可能是活性能量跃动而产生的聚变现象（电能量聚变）。一旦出现能量的积聚，将会出现放电或其他如爆炸、发热、发光等现象。而当临界放电处的电流密度超过该处所能容纳的电核或能量容纳极限时发生的放电现象，能量超越愈大放电现象愈明显，同时由于能量的快速聚变，即由高能量恢复常态将发生爆炸现象。

一般情况下，任何导电都有自身应有的电流密度临界上限值，而突破这个上限值就会产生能量的大范围转换，同样的电能量状态下，接触的好将不发热，接触的不好就发热，产生间隙就会出现放电现象。

（7）短电弧间隙放电可理解为强电阻空间下，电阻被剧烈加热熔化后产生电蚀的结果。一般来说，高阻性熔化是形成熔化的关键；快速高度聚集，超过载体可正常承载的电流密度时，就会形成过热快速熔化。

高度在放电点或区聚集的，或高度在放电电压调制的质子、电子、原子由于快速运动产生极高的热量从而产生热量聚变，即高分子或质子运动使原子电子质子高速运动产生热形成熔化或高活性的原子分子，形成加工状态。

便携式短电弧切削过程中，接触放电会经常出现，这不同于短电弧机床的间隙放电工作方式。

（8）电流的趋肤效应也一样适用于放电的两极之间，即放电趋肤效应，以使放电空间两极势能更活跃，更易于强过其他部位产生放电工作的可能性。

2. 便携式短电弧切削装置的制造与应用

（1）便携式短电弧放电技术　首先解决好便携式短电弧连续稳定放电产生的条件：即在气体放电环境下产生连续稳定不间断短电弧放电和不间断的似稳瞬变电流。

由于在便携式短电弧加工中，放电技术的稳定决定了整个加工过程是否可以实现，因此它是该技术的关键。而便携式短电弧放电过程中极间介质的击穿电离和放电通道的能否形成，是该技术的关键点，通过研究与实践证明目前的技术方案是可行的，可以实现高效工作的要求。因此，需要完善和提高元器件的选型和定型工作，以适应便携式短电弧放电的特殊条件。

短电弧加工机床解决了固定放电间隙下自适应放电工作的难题，而便携式短电弧放电技术需要解决随机放电间隙下自适应放电工作的问题，即工作需要多少电流、电压和放电间隙，则电源就自动地提供实现工作需要的工作状况参数，以达到快速实现高效加工的目标，相对来说技术难度更高。

（2）放电波形特征影响　通过研究表明电流、电压波形对加工表面质量是有明显影响的，对切削效率也有较大影响。目前通过对斩波、方波、锯齿波以及复合波形等作对比实验，落实相关技术差异产生的不同效果。同时，由于要实现高效的电流、电压波形控制，目标波形是实现短电弧高效低能耗切削加工的关键。因此，通过对特定的波形及频率，适时的短电弧电流峰值、电压幅值的控制试验验证研究结果，以达到和实现目标的加工表面质量和加工效率。

（3）瞬变电流冲击问题　瞬变冲击电流对元器件的影响是巨大的，解决不好非常容易造成元件烧毁，产生工作稳定性的问题，抑制过快或过慢的电流速度是必要的。

由于便携式短电弧切削为手工操作控制，随机性更强，不像短电弧切削机床那样进给量和切削量、切削速度容易控制，因此就有可能产生短路及突发的大电流冲击工作，此工作解决有相当大的难度，需要后续加紧研究。

（4）高频放电趋肤效应技术的应用　一般来讲，我们完全不考虑可变电流按导体截面分布的问题。然而，这一问题不仅从理论的观点来看是重要的，就是从技术的观点来看也是重要的。我们现在要证明，和恒定电流不同，即使在均匀线导体中，可变电流也不按导体截面均匀分布，而一般说来集中在导体的表面上。这一现象称为趋肤效应，它使得导体的有效电阻和自感发生改变，而经研究和实验证明短电弧放电相当程度上具有这一特性。

我们研究电场强度为时间正弦函数的可变电场，将

它们的强度表示成复数形式，得出这样一个结论：①即在迅速瞬变电流的情形下，电流集中在导体表面薄层内。②考虑到导体内的磁场是用和电场的情形相似的微分方程式来决定的，因而不论是迅速电流的电场，还是它的磁场，都不能透入导体深处，这也就使我们可以得到同样结论——放电趋肤效应。

研究结果表明电流的频率越大，可变电流越强烈地集中在导体的表面上，放电产生的效率越高。之前的短电弧加工机床开发项目的短电弧电源是中低频 300 ~ 600Hz 工作，现在便携式短电弧电源是在高频 16 ~ 20kHZ 工作，实现工作还有很多实际的难题要解决。

因此，非常有必要把这一理论研究成果快速应用于产品实体，即放电是在表层进行的，而非实体内部，也不会在实体内部产生大的热量，以解决放电关键技术的核心问题。

（5）便携式环流工具制造　将工具上加电应用于加工，目前在国内外还是首次尝试，使便携式环流工具具有安全、小巧、方便、实用的特点，是便携式气动环流工具制造的关键，而重量轻、体积小、易于搬动、实现方便的现场加工操作，将从根本上改变硬面加工材料市场的加工方法格局，扩大硬面加工材料的应用环境和范围，保证工作安全可靠进行。

便携式短电弧切削装置图片如图 1 ~4 所示。

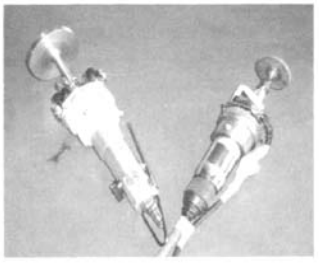


图1　便携式阴极环流工具1



图2　打孔便携式阴极环流工具试样2

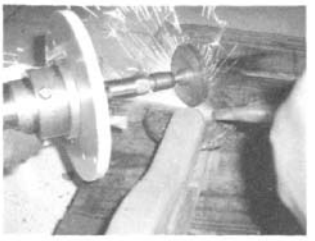


图3　便携式短电弧切削装置应用1



图4　便携式短电弧切削装置应用2

3. 结语

（1）便携式短电弧放电是强烈的电子、质子调制聚集后产生过热放电现象，即产生电热能量高度聚集、快速释放的结果。

（2）该技术的产生将推动和派生出更多的短电弧技术产品，如短电弧锉、短电弧铲、固定式短电弧清理装置、短电弧拉毛装置等，将带动材料技术的同步发展和快速飞跃，值得同行业专家共同致力于其研究工作，以推动该技术快速发展，快速产生现实的生产力。

（3）传统的放电轰击理论有其不完善的方面，理由是交流电放电加工后，正负电子、正负极不能解释电子轰击与质子碰撞的道理，即放电加工理论中电子（正负电子、质子）轰击理论有一定的缺陷，无法完整合理地解释交流短电弧放电加工中的理论特性，而我们补充定义此为“正负电子、质子高度聚集产生电阻性热量，即阻性快速熔化的结果”，这是一个值得讨论的课题，因此，需要多方面的探讨，完善电加工理论的不足论述。

（4）稳定连续气体放电环境下的短电弧放电加工的优势是明显的，可以用于要求不高切削量大的尺寸高效加工。

（5）便携式短电弧切削技术解决了各种导电难加工材料的现场加工的问题，解决了世界难加工导电材料的国际性的共性问题，是特种加工技术的一次重大突破，将对加工技术格局产生重大影响。**MW**　（20091012）