

纯钨材料环形微槽电解电火花加工特性研究*

余浩^{1,2}, 刘桂贤^{1,2}, 张永俊^{1,2}, 周佐霖^{1,2}

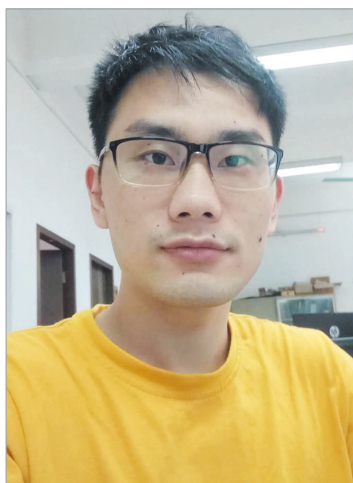
(1. 广东工业大学机电工程学院, 广州 510006;

2. 广州市非传统制造技术及装备重点实验室, 广州 510006)

[摘要] 为解决氙灯钨阳极表面密集环形微槽加工的技术问题,提出了采用 RC 电源,在超低电导率下电解电火花加工纯钨表面微沟槽的方法。研究在 RC 电源下,不同电解液类型下的电解电火花加工特性。首先,通过电化学工作站测量纯钨材料在不同电解液类型下的极化曲线,分析不同电解液类型的初腐蚀电位。为研究加工过程形成的气泡对加工的影响规律,通过高速摄像仪对不同工艺条件下加工区域的气泡形成与分布进行观察。最后,采用自主研发的试验装置开展了纯钨棒材表面环形微沟槽电解电火花加工工艺试验,分析工作液成分、电导率、转速和电压不同参数对加工特性的影响规律。在极间电压 60V,转速 500r/min,电导率为 50 μ S/cm 的 NaOH 电解液下加工了槽宽为 50.97 μ m,槽深为 17.31 μ m 的微沟槽结构。

关键词: 纯钨; 电解放电加工; RC 电源; 微槽; 气泡

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2019.11.047



余浩

硕士研究生,主要研究方向为电解电火花技术。

钨是一种难熔金属,具有熔点高(达 3400 $^{\circ}$ C)、密度大(19.32g/cm³)、耐化学腐蚀性好及高温强度高等特点,广泛应用于工业领域。例如,可以用作灯泡和电子管中的灯丝、X 射线管中阳极材料、高温炉中的导热材料、火箭喷嘴及隔热材料、军用平衡零件和制作飞轮,以及碳化钨硬质合金刀具材料等^[1]。氙灯阳极采用纯钨材料制作,钨阳极的散热能力决定氙灯的亮度和使用寿命,因此,钨阳极表面上加工出微结构来增强散热面积,对提高氙灯的使用寿命非常有效。钨的化学活性较大,亲和力较强,切削过程中容易产生积屑瘤,而积屑瘤的剥落会导致工艺过程的不稳定,且存在切削温度高、所需切削

力大、刀具磨损严重等问题,造成加工质量很难控制,甚至不能进行加工^[2-3]。电解电火花加工利用电解反应产生的气泡膜充当非导电相隔离工具电极和导电电解质溶液,击穿气泡膜产生的火花使工件材料熔化、气化并抛出,达到加工的目的^[4]。由于气体耐压强度低,所以工作液击穿电压值比绝缘介质小^[5]。放电时易引起氢和氧的爆炸作用,气泡爆炸作用使金属抛出力增强,间隙内工作液扰动力增大,使得间隙内微粒的排出能力增强,防止了间隙中的颗粒连接成小桥引起拉弧,使有效放电次数增多,从而提高加工效率,同时阳极溶解进入工作液的离子在电场作用下在阴极沉积,补偿阴极的损耗,阴极电极同时存在电火花烧蚀和电镀沉积,气泡覆盖在阴极表面,可在一定程度上

* 基金项目:广东省科技计划项目(2017A010102010);国家自然科学基金(51705088)。

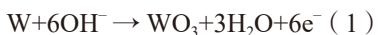
阻碍阳离子对阴极的轰击,降低阴极电极损耗^[6]。因此电解放电加工兼具了电火花加工非接触、无加工应力、高效率的优点和电化学加工的低损耗的优点,可实现高效率低损耗加工,且工件表面不会出现明显的电化学杂散腐蚀现象^[7]。研究表明钨材料对碱性工作液较敏感,常用来进行电解加工钨微结构^[8-11]。RC脉冲电源结构简单,能量调节方便,能实现调节电火花单个脉冲放电能量在 $10^{-7}\sim 10^{-6}\text{J}$ 范围进行微细加工^[12-13]。

针对纯钨棒环形微槽电解放电加工工艺,实验室搭建了专用的电解放电火花加工试验平台。利用高速摄影仪拍摄观测实时加工气泡状态。分析不同加工工艺参数对电解放电火花加工纯钨材料的影响规律,为进行更高效电解放电火花加工钨环形微槽加工提供理论及试验依据。

钨棒环形沟槽电解放电火花加工原理

采用中性盐溶液作为工作液时,纯钨材料在电解加工过程中极易形成一层致密的钝化膜,其反应过程如反应方程式(1)所示,钝化膜的主要成分为 WO_3 ,该氧化膜阻碍离子的迁移过程。而在碱性溶液中,加工过程中形成的 WO_3 会有效地溶解,其反应过程如反应方程式(2)所示。但是,高浓度的碱性溶液不利于人身安全,而低浓度碱性溶液下的电解反应速度极低。

阳极反应:



因此,为了提高电解加工钨材料的加工速度与精度。提出在超低浓度溶液下的电解放电火花加工钨材料的方法。如图1所示,在该工艺中,电解的作用主要是形成钝化膜与产生气泡层,有助于放电通道形成,且降低了丝电极损耗。

试验条件

1 电解放电火花加工装置的研制

电解放电火花加工试验平台设计包括XY轴,选用了DKW-XY-160P型的直线电机运动平台、高速旋转主轴、运动控制系统、工作液槽与RC脉冲电源。XY轴直线电机运动平台的重复定位精度为 $\pm 2\mu\text{m}$ 。Z轴的电主轴可实现高回转精度的旋转。运动控制系统利用三轴运动控制器(XC6083)可执行G代码实现运动控制。工作液槽采用耐腐蚀的亚克力材料制备。将RC电源(自制)应

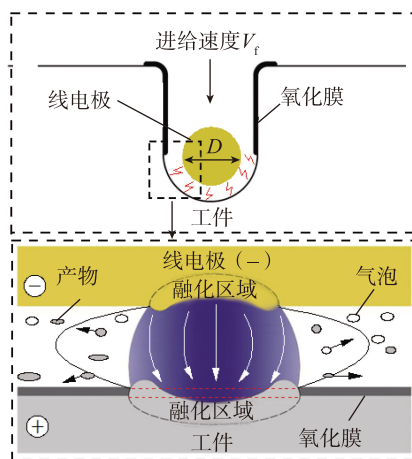


图1 电解放电火花加工钨表面环槽示意图
Fig.1 Schematic diagram of ECDCM of micro-groove on tungsten

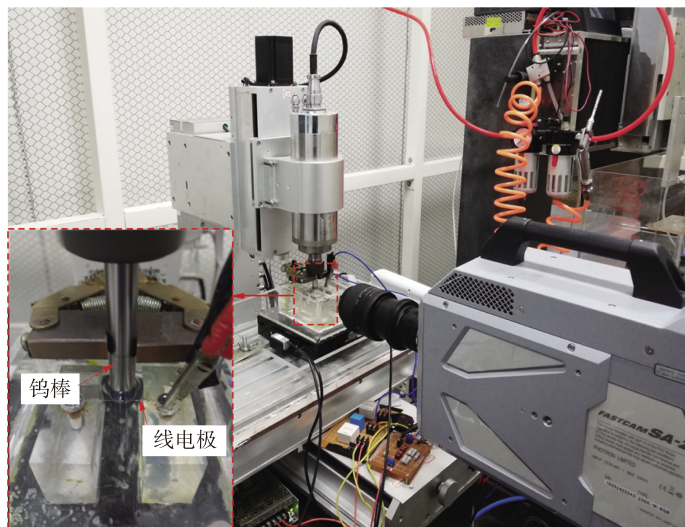


图2 电解放电火花试验平台
Fig.2 Test equipment of ECDCM

用于电解放电火花工艺中。在该工艺试验中,直径 $50\mu\text{m}$ 的钼丝作为工具阴极,直径 10mm 的钨棒为工件阳极。图2为电解放电火花专用试验平台实物图。

2 检测方法及装置

加工得到的环形微槽的轮廓尺寸与加工表面形貌采用激光共聚焦三维显微镜(OLS400, OLYMPUS Corporation Japan)和扫描电镜(S-3400N-II)进行检测。不同电解液类型下的极化曲线采用Zennium电化学工作站测量。加工过程中的电压与电流信号采用电流霍尔传感器配合示波器进行测量与采集。工作液的电导率采用DDS-307型电导率仪进行检测。加工时气泡拍摄采用高速摄影仪(Photron FASTCAM SA-Z)进行拍摄。加工过程中,气泡状态的观测装置如图2所示。

3 试验方法

工艺试验采用实验室自制的电解放电火花试验平台,实际加工图如图2所示。RC电源(+)端通过导电电刷连接钨棒,RC电源(-)端连接到线电极(钼丝),Z主轴上弹性夹头夹持阳极钨棒旋转。通过示波器电压探头和电流探头获得加工过程中的实时电压与电流波形。

在电解电火花加工工艺中,极间间隙对加工情况有重要影响,本文采用两极接触式方式进行对刀。具体方式如下:装夹钼丝线电极后,RC电源输入1V电压,Z主轴以实际加工速度旋转,XY轴运动平台以低进给速度,使钼丝线电极逐渐靠近钨棒,当两极一接触,断开RC电源,停止运动进给和旋转后,使钼丝线电极后退,保证20 μm 的初始加工间隙。设定加工电参数后,调试高速摄影仪至清晰拍摄加工区域,待通电进行电解电火花加工。完成对刀后,利用XY轴运动平台实现阴极钼丝匀速进给。高速摄影仪拍摄电解电火花实时加工情况,分析气泡生成与分布情况。每组试验选取电解电火花加工之前与加工后0.005s时的图片作为评价依据。

4 试验参数

根据电解电火花的加工原理与试验要求进行工艺试验。工件选取直径10mm钨棒;线电极选取直径50 μm 钼丝;电解液为2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 去离子水、50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO₃溶液、100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO₃溶液、50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液、100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液;主轴转速分别为500r/min、1000r/min、1500r/min;极间电压分别为40V、60V、80V;加工时间2min。

试验结果和讨论

1 极化曲线的测量与分析

为了研究不同电解液类型下的开路腐蚀电位,采用电化学工作站对不同电解液下的极化曲线进行测量。采用质量分数为99.9%的纯钨块作为工作电极,Pt片电极作为辅助电极,饱和甘汞电极作为参考电极。在测量过程中,电位扫描速度为1mV/s。

极化曲线测量结果如图3所示,开路腐蚀电位在工作液为2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 去离子水、50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO₃溶液、100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO₃溶液、50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液、100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液

液与100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液下分别为0.001V、-0.092V、-0.112V、-0.085V与-0.18V。在去离子水溶液中,由于电导率极低,开路腐蚀电位最大,不易发生电化学溶解。在NaNO₃溶液与NaOH溶液中,开路腐蚀电位随着电导率增大而减小。100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液下的开路腐蚀电位明显低于100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO₃溶液,更容易发生电化学溶解。但是,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液下的开路腐蚀电位与

100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO₃溶液下的开路腐蚀电位非常接近。

2 不同工作液类型对丝电极损耗影响

在该试验中,工作液选用分别为2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 去离子水、50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO₃溶液、50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液。极间电压为60V,钼丝直径为50 μm ,主轴转速为1000r/min。本文丝损比等于丝损耗尺寸与丝电极尺寸的比值。丝损如图4所示,

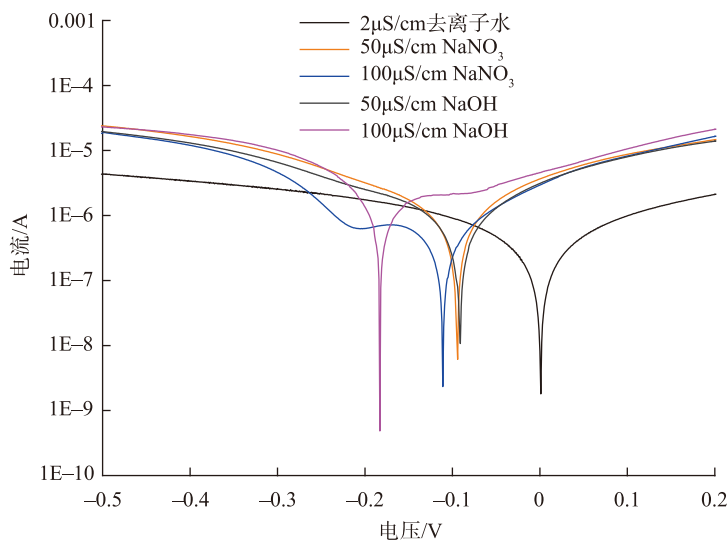


图3 不同电解液下的极化曲线

Fig.3 Polarization curve under different electrolyte

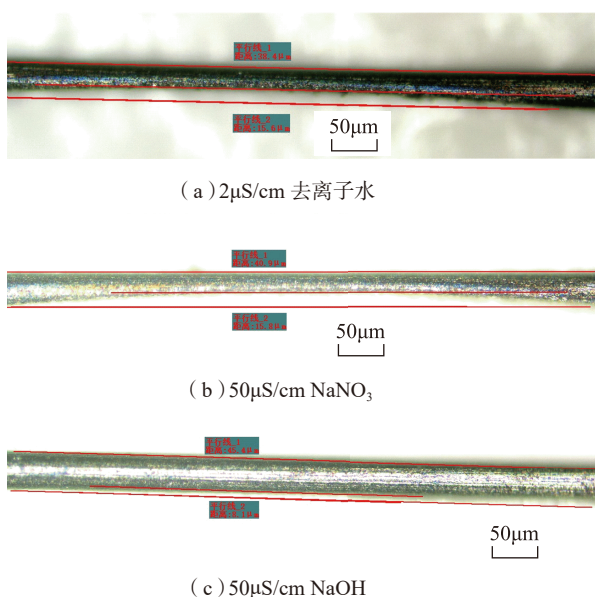


图4 不同工作液类型下加工丝损图

Fig.4 Wire loss diagram under different working fluid types processing

丝损比数据如图 5 所示,本文通过丝损比来反映节丝电极损耗程度,丝损比是丝损耗尺寸与丝电极直径的比值,比值高,则代表损耗程度严重。在 NaOH 溶液下,相比去离子水和 NaNO₃ 溶液,丝损耗最小。这是由于 NaOH 溶液在加工过程中 OH⁻ 会溶解部分阻碍电化学反应的氧化膜,从而促进电化学反应,使得阴极沉积效果最大化,同时伴随电化学反应产生的气泡会缓解正离子对钼丝电极的轰击,两者共同作用下,减小了钼丝电极的损耗。

3 不同工作液类型对加工的影响规律

在该试验中,工作液分别为 2μS/cm 去离子水、50μS/cm NaNO₃、50μS/cm NaOH 溶液。极间电压为 60V,主轴转速为 1000r/min。如图 6 所示,在去离子水溶液中,加工区域几乎无生成气泡,仅有一些火花放电形成的气泡残留。同时,NaOH 溶液比 NaNO₃ 溶液产生更多的气泡,这是因为在 NaOH 溶液中,还有氢氧根和氧化钨的化学反应发生,去除了一定量的钝化膜,使电化学反应得以继续,故产生了较多的气泡(氢气与氧气)。加工区域存在较多的气泡,有利于电离形成放电通道。从放电波形可以发现(图 7),相比去离子水和 50μS/cm NaNO₃ 溶液,50μS/cm NaOH 溶液的放电更密集,大量的气泡产生,会降低击穿电压,从而在相同加工时间内,放电的次数会有所增加,有利于提高加工效率。加工得到的微细环槽如图 8 所示,2μS/cm 去离子水加工平均槽宽为 46.16μm,平均槽深为 2.77μm;50μS/cm NaNO₃ 溶液加工的平均槽宽为 46.99μm,平均槽深为 3.8μm;50μS/cm NaOH 溶液加工的平均槽宽为 51.74μm,平均槽深为 18.49μm。因此,碱性 NaOH 溶液相比去离子水与中性 NaNO₃ 溶

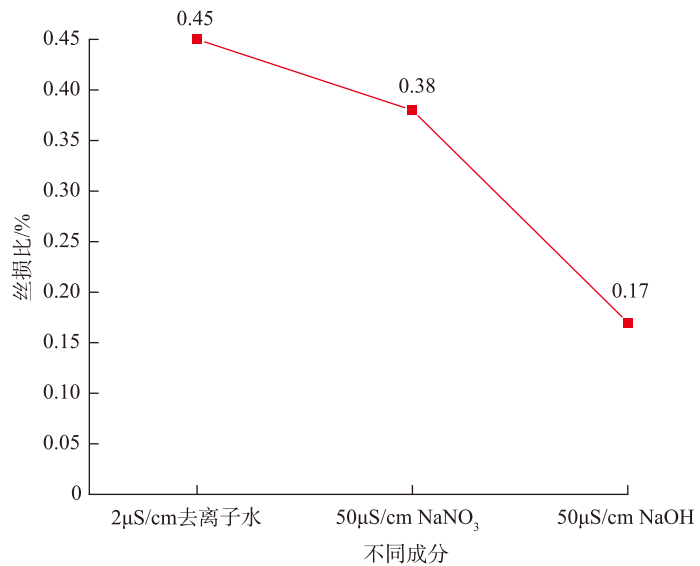


图5 不同工作液类型下丝损比数据图

Fig.5 Data diagram of wire loss ratio under different working fluid types

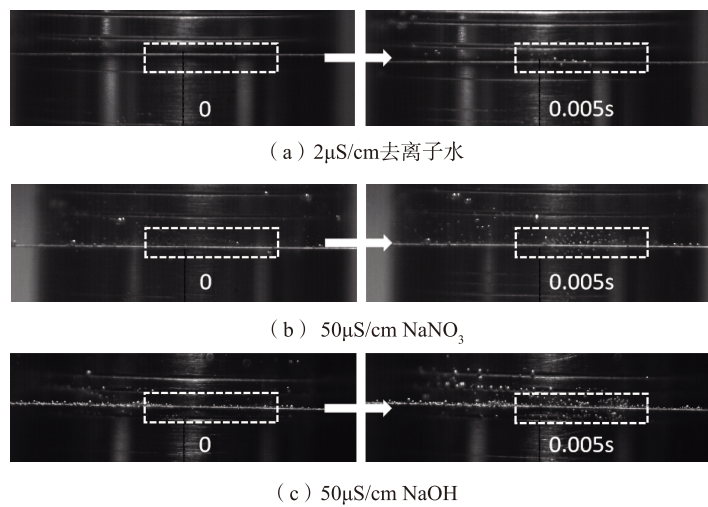


图6 不同工作液类型下产生的气泡分布

Fig.6 Bubble distribution under different electrolyte

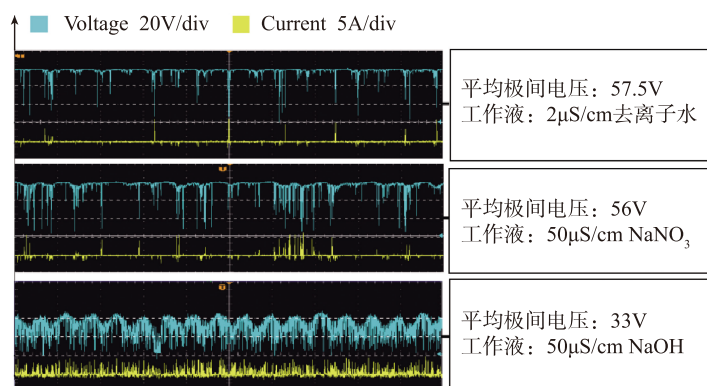


图7 不同工作液成分下的加工波形

Fig.7 Machining waveform under different electrolyte

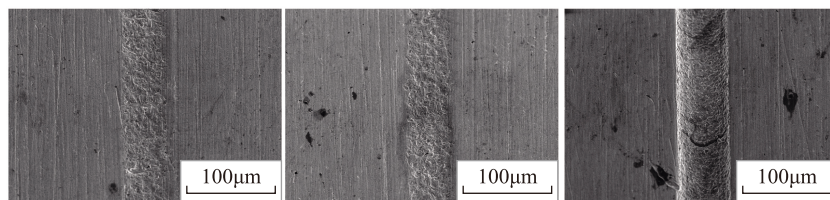
液更具优势。

4 不同电导率对加工的影响规律

在该试验中,工作液分别为 $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 去离子水、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH与 $100\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH。极间电压为 60V ,主轴转速为 $1000\text{r}/\text{min}$ 。如图9所示, $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液与 $100\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液产生的气泡量接近,并且,其放电波形也非常一致(图10),平均放电电压分别为 33V 与 35.2V 。图11为加工得到的环形微槽,去离子水加工平均槽宽为 $46.16\mu\text{m}$,平均槽深为 $2.77\mu\text{m}$; $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液加工的平均槽宽为 $51.74\mu\text{m}$,平均槽深为 $18.49\mu\text{m}$; $100\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液加工的平均槽宽为 $51.72\mu\text{m}$,平均槽深为 $13.62\mu\text{m}$ 。试验结果表明低电导率的NaOH不仅可降低对人体危害的风险,且加工效率也相应提高,结果显示 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH比 $100\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH溶液的加工效率更高。

5 不同极间电压对加工的影响规律

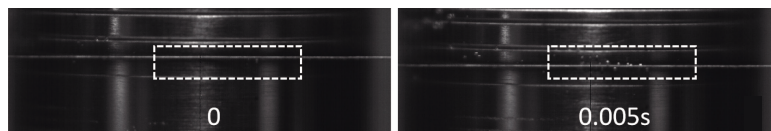
为了研究极间电压对电解电火花加工的影响规律,极间电压采用 40V 、 60V 与 80V 进行试验,工作液为 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH,主轴转速为 $1000\text{r}/\text{min}$ 。图12显示,相比极间电压为 40V 与 80V ,极间电压为 60V 时,气泡产生多且均匀。根据加工波形(图13),在极间电压为 40V 时,加工过程中频繁出现短路现象,这是由于在加工过程中,材料蚀除速度比进给速度慢。而 80V 时,由于单点放电能量强,虽然工件材料去除量大,但是电极丝的损耗也相应增大。图14为加工得到的环形微槽。极间电压为 40V 时,环形微槽的槽宽 $43.38\mu\text{m}$,槽深 $10.99\mu\text{m}$; 60V 时槽宽 $51.74\mu\text{m}$,槽深 $18.49\mu\text{m}$; 80V 时槽宽 $50.19\mu\text{m}$,槽深 $7.2\mu\text{m}$ 。试验结果显示,极间电压选择过低或过高都不利于电解电火花加工。电压过低会影响加工效率,电压过高会造成电极丝的严重损耗,反而会影



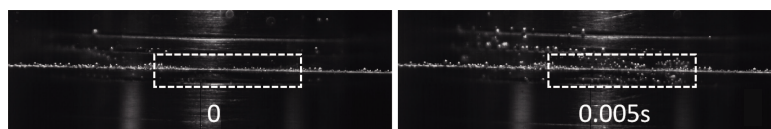
(a) $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 去离子水 (b) $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaNO_3 (c) $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH

图8 不同工作液成分加工的环形微槽

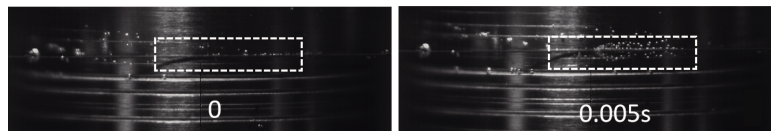
Fig.8 Machined grooves under different electrolyte



(a) $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 去离子水



(b) $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH



(c) $100\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH

图9 不同电导率下产生的气泡分布

Fig.9 Bubble distribution at different conductivity

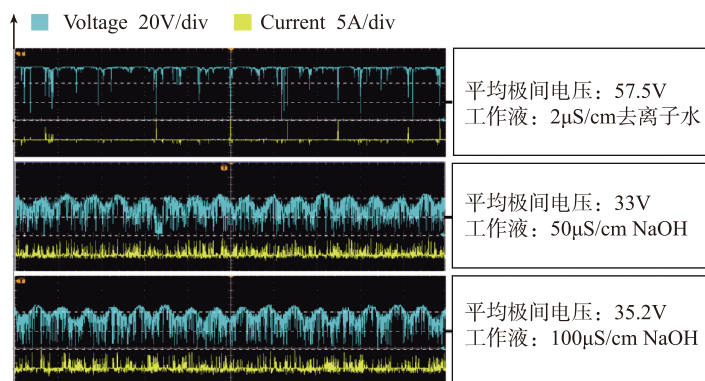
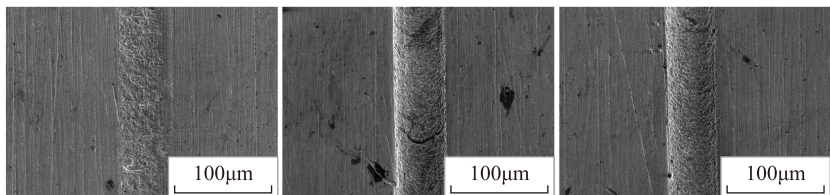


图10 不同电导率下的加工波形

Fig.10 Machining waveform under different conductivity



(a) $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 去离子水 (b) $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH (c) $100\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH

图11 不同电导率下加工的环形微槽

Fig.11 Machined grooves under different conductivity

加工效率。

6 不同转速对加工的影响规律

在该试验中, 主轴转速为 500r/min、1000r/min、1500r/min, 工作液为 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ NaOH, 极间电压为 60V。图 15 中显示, 不同转速下加工区域的气泡量比较接近, 但是, 随着转速的增大, 钨棒周围会形成一定负压区, 附着在电极丝上的气泡有随着钨棒旋转的趋势, 因此, 在转速为 1500r/min 时, 电极丝表面的气泡数量减少。根据加工波形显示(图 16), 不同转速下的放电状态较接近, 但当转速为 1500r/min 时, 放电波形开始抖动, 相比转速为 1000r/min 更不稳定, 这是由于转速增加, 旋转主轴跳动的影响变大造成的。图 17 为加工得到的环形微槽, 在主轴转速 500r/min 条件下, 环形微槽的槽宽 $50.97\mu\text{m}$, 槽深 $17.31\mu\text{m}$; 1000r/min 时槽宽 $51.74\mu\text{m}$, 槽深 $18.49\mu\text{m}$; 1500r/min 时槽宽 $53.6\mu\text{m}$, 槽深 $19.21\mu\text{m}$ 。

结论

根据电解电火花加工钨棒表面环形微槽加工工艺特点, 设计并搭建了高精度的电解电火花试验装置。研究了不同电解液类型、电导率、极间电压和主轴转速下的加工规律。根据试验结果与分析, 得到如下结论:

(1) 对于钨基材料, NaOH 溶液相比 NaNO_3 溶液, 具有更高加工效率。NaOH 溶液的电导率选择至关重要, 在一定条件下, 相比高电导率 NaOH 溶液, 低电导率下的 NaOH 溶液不仅可降低对人体危害的风险, 而且加工效率更高。

(2) 在电解电火花加工过程中, 加工间隙的气泡分布直接影响极间的放电状态。气泡产生较多时更易形成气膜, 有利于提高电解电火花加工过程的稳定性。

(3) 主轴转速对加工区域的气

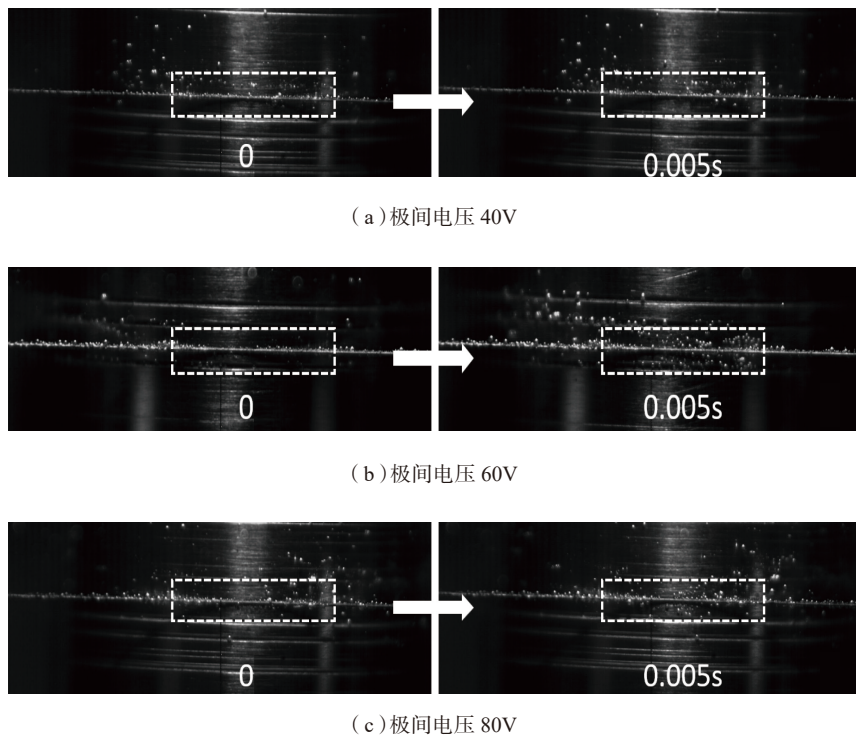


图12 不同极间电压下产生的气泡分布

Fig.12 Bubble distribution at different voltage

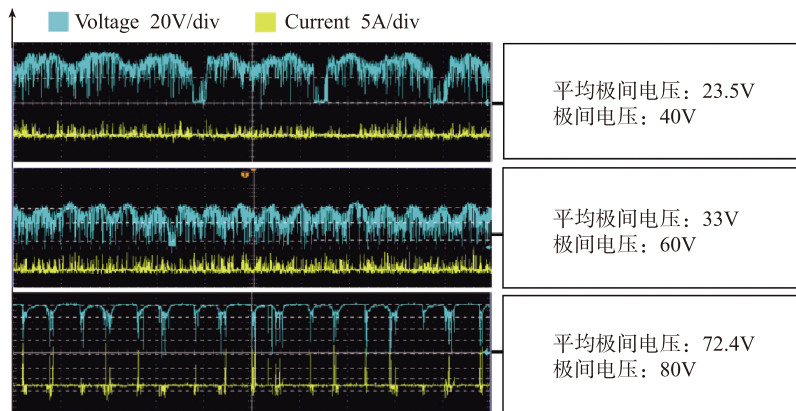


图13 不同极间电压下的加工波形

Fig.13 Machining waveform under different voltage

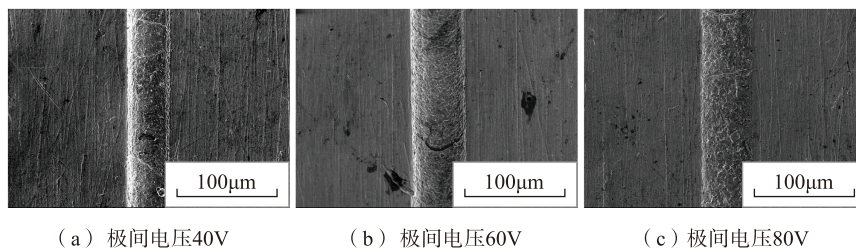


图14 不同极间电压加工的环形微槽

Fig.14 Machined grooves under different voltage

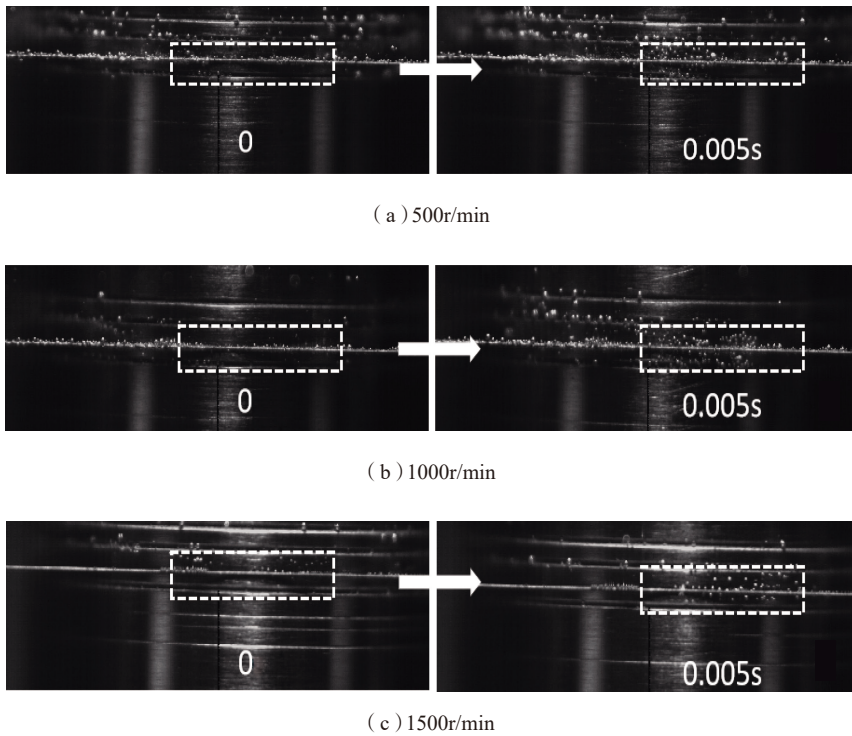


图15 不同转速下的气泡分布

Fig.15 Bubble distribution at different rotational speeds

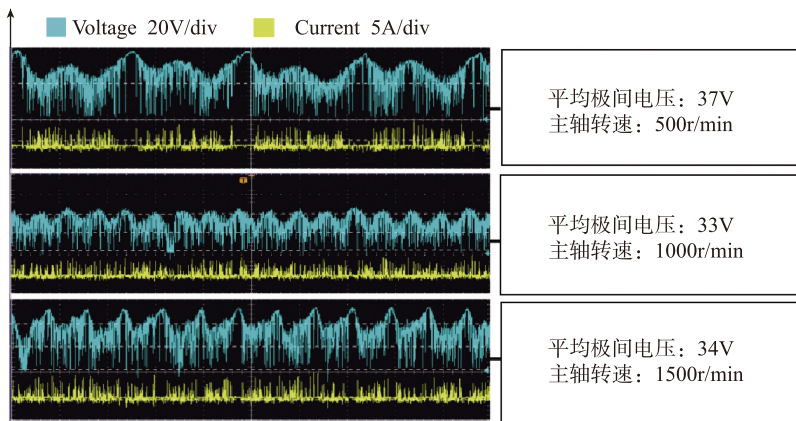


图16 不同转速下的加工波形

Fig.16 Machining waveform under different rotational speeds

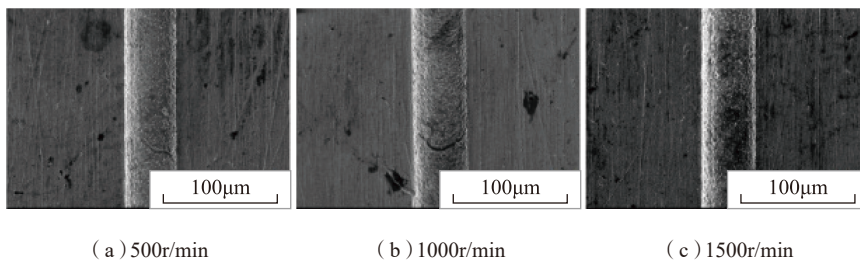


图17 不同转速下加工的环形微槽

Fig.17 Machined grooves under rotational speeds

泡分布影响较大,随着转速的增大,电极丝表面附着的气泡向工件旋转区域转移速度会更快。

(4)加工得到的微细沟槽,证明了电解电火花加工钨基材料的可行性。同时验证了研制的电解电火花加工装置的可靠性。

参考文献

[1] 赣县钨产业快速健康发展[J]. 铁合金, 2014, 45(2): 47.

Ganxian tungsten industry develops rapidly and healthily[J]. Ferroalloy, 2014, 45(2): 47.

[2] 张高萍,郭光宜,赵灵. 硬质合金电火花加工性能的试验研究[J]. 现代制造工程, 2011(8): 83-86.

ZHANG Gaoping, GUO Guangyi, ZHAO Ling. Experimental study on EDM properties of cemented carbides [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(8): 83-86.

[3] 文武,王西彬,龙振海,等. 多曲率油槽电火花成形加工及精密组合电极的设计[J]. 中国机械工程, 2009, 20(8): 946-949.

WEN Wu, WANG Xibin, LONG Zhenhai, et al. Design of multi-curvature oil tank EDM and precision composite electrode[J]. China Mechanical Engineering, 2009, 20(8): 946-949.

[4] 尹飞鸿,蒋丽伟,何亚峰,等. 电解加工新工艺及发展趋势[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47(1): 13-17.

YIN Feihong, JIANG Liwei, HE Yafeng, et al. New electrochemical processing technology and development trend[J]. Mechanical Design and Manufacturing Engineering, 2018, 47(1): 13-17.

[5] 诸跃进. 电解电火花复合加工深孔试验研究[J]. 电加工与模具, 2012(6): 47-50.

ZHU Yuejin. Experimental study on deep hole machining by electrochemical discharge machining[J]. Electromachining & Mould, 2012(6): 47-50.

[6] 诸跃进,闫伟,张卫华,等. 工作液对电解电火花复合加工工艺效果影响的试验研究[J]. 苏州科技学院学报(工程技术版),

2013, 26(1): 76–80.

ZHU Yuejin, YAN Wei, ZHANG Weihua, et al. Experimental research on the influence of low conductive electrolyte on technological effect in electrochemical arc machining[J]. Journal of Suzhou Institute of Science and Technology (Engineering Technology Edition), 2013, 26(1): 76–80.

[7] 尹青峰, 王宝瑞, 李建原, 等. 弱电解质中电解放电复合加工工艺技术[J]. 航空制造技术, 2012, 55(16): 54–57.

YIN Qingfeng, WANG Baorui, LI Jianyuan, et al. Electrolyte electrolyte electrolysis compound processing technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012, 55(16): 54–57.

[8] NATSU W, KURAHATA D.

Influence of ECM pulse conditions on WC alloy micro-pin fabrication[J]. Procedia CIRP, 2013, 6: 401–406.

[9] HE H, ZENG Y, QU N. An investigation into wire electrochemical micro machining of pure tungsten[J]. Precision Engineering, 2016, 45: 285–291.

[10] ZHANG C, ZHANG Y, CHEN X, et al. Investigation of the electrochemical dissolution behavior of tungsten during electrochemical machining[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2018, 97(9–12): 1–8.

[11] QI X X, FANG X L, ZHU D. Investigation of electrochemical micromachining of tungsten micro-tools[J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2018,

71: 307–314.

[12] 黄海清, 刘伟, 曾令燎, 等. 微细电火花加工可控式 RC 脉冲电源研究[J]. 电加工与模具, 2013(2): 12–15.

HUANG Haiqing, LIU Wei, ZENG Lingliao, et al. Research on controllable RC pulse power supply for micro EDM[J]. Electromachining & Mould, 2013(2): 12–15.

[13] RAJURKAR K P, LEVY G, MALSHE A, et al. Micro and nano machining by electro-physical and chemical processes[J]. CIRP Annals—Manufacturing Technology, 2006, 55(2): 643–666.

通讯作者: 刘桂贤, 讲师, 研究方向为电解加工工艺与电源的研究, E-mail: gxliu@gdut.edu.cn.

Study on Electrochemical Discharge Machining of Micro-Groove on Pure Tungsten

YU Hao^{1,2}, LIU Guixian^{1,2}, ZHANG Yongjun^{1,2}, ZHOU Zuolin^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Guangzhou Key Laboratory of Non-traditional Manufacturing Technology and Equipment, Guangzhou 510006, China)

[ABSTRACT] In order to solve the technical problem of dense micro grooves on the surface of xenon lamp tungsten anode, a method of electrochemical discharge machining (ECDM) of micro grooves on pure tungsten at low conductivity electrolyte was proposed, and RC power supply was applied into the process. The characteristics of ECDM with different electrolyte under RC power supply were studied. Firstly, the polarization curves of pure tungsten materials under different electrolytes were measured by electrochemical workstation, and the open circuit potential at different electrolytes was analyzed. In order to study the influence of the bubbles distribution during the processing, the bubbles formation and distribution in the machining area under different experimental conditions were observed by high-speed camera. Finally, the process of ECDM of micro-groove on the surface of pure tungsten rod was carried out with self-developed test device. The effects of electrolyte type, conductivity, rotational speed and inter electrode voltage on the machining characteristics were analyzed. Under 50 μ S/cm NaOH solution with an inter electrode voltage of 60V and a rotating speed of 500r/min, the micro groove with width is 50.97 μ m and the depth is 17.31 μ m was obtained by ECDM.

Keywords: Tungsten; Electrochemical discharge machining (ECDM); RC power supply; Micro-groove; Bubble

(责编 铃兰)