

PtIr 高温合金电火花线切割工艺参数优化研究

施宏宇¹, 陈南光^{1*}, 杨润林², 周东²

(1. 贵研化学材料(云南)有限公司, 昆明 650106; 2. 贵研铂业股份有限公司, 昆明 650106)

摘要: 为了提高 PtIr 高温合金电火花线切割加工的表面质量及减少切割边缘毛刺, 研究电流、脉宽、脉间距对 PtIr 合金电火花线切割加工效果的影响。结果表明: 加工过程的参数对材料的表面粗糙度及边缘毛刺有重要影响。对电火花线切割加工工艺参数进行了优化, 电流为 5 A、脉宽 5 μ s、脉距 5 μ s 时、加工速度 150 步/S、钼丝直径 0.1 mm 时加工效果最佳, 表面粗糙度 R_a 值为 0.14 μ m, 切割精度公差可控制在 ± 0.006 mm 内。

关键词: 电火花线切割; 电流; 脉宽; 脉间距; 参数优化

中图分类号: TG659 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0676(2023)S1-0023-05

Study on optimization of parameters of PtIr high-temperature alloy by WEDM wire-cutting process

SHI Hongyu¹, CHEN Nanguang^{1*}, YANG Runlin², ZHOU Dong²

(1. Sino-Platinum Metals Chemical (Yunnan) Co. Ltd., Kunming 650106, China;

2. Sino-Platinum Metals Co. Ltd., Kunming 650106, China)

Abstract: In order to improve the surface quality and reduce the edge burrs, the effects of current, pulse width and pulse spacing on the machining effect of PtIr alloy WIM were studied. The results show that the machining parameters have an important effect on the surface roughness and edge burr of the material. The machining parameters of wire electrical discharge machining(WEDM) were optimized, the current was 5 A, the pulse width was 5 μ s, the pulse distance was 5 μ s, the machining speed was 150 steps/S, the diameter of molybdenum wire was 0.1 mm, the surface roughness R_a was 0.14 μ m, and the cutting precision tolerance reached ± 0.006 mm.

Key words: wire electrical discharge machining; current; pulse width; pulse interval; parameter optimization

电火花线切割技术具有尺寸精度高、加工速度快, 材料利用率高等的优点, 广泛应用于模具、精密零件及特殊材料的加工^[1-7], 该切割加工是一个多参数、多因素控制、复杂的加工过程, 其微观过程较为复杂。因此, 相对于不同的材料须有不同的最佳加工参数组合。

当 Ir 以合金元素的方式加入 Pt 后, 形成的 PtIr 合金不仅具备了超高的化学稳定性、生物相容性, 其机械性能相比纯 Pt 得到了显著优化, 使得 PtIr 合

金在电接触材料、火花塞电极、生物医学、催化剂等领域得到良好的应用^[8]。

PtIr 合金经过精密切割过程应用时, 不但要求有较高的尺寸精度, 同时要求较高的表面质量和尽量少的切割毛刺, 综合各种加工方法, 用电火花线切割具有效率高、切割精度高、成本低的优点。但是电火花线切割过程中的切割参数会影响加工件的表面质量和毛刺的多少、大小。本文重点研究中走丝电火花线切割加工参数对 PtIr 合金切割表面质

收稿日期: 2023-07-31

第一作者: 施宏宇, 男, 工程师; 研究方向: 贵金属材料加工; E-mail: shy@ipm.com.cn

*通信作者: 陈南光, 男, 高级工程师; 研究方向: 贵金属材料及化学化工; E-mail: cng@ipm.com.cn

量、毛刺的影响。

1 单因素试验

1.1 试样制备

PtIr10 采用纯度 99.95%(质量分数,下同)以上铂和铱原料,按名义成分配料,在高频感应炉中真空氩气保护熔炼,可先将铂熔化,再加铱,也可同时加入熔炼,为提高铸锭质量,可重熔两次并除气,然后底漏浇铸于水冷铜模,得到 $\phi 15$ mm 铸锭,再经表面处理、1200°C 热锻、冷轧,1000 °C 左右中间退火、冷拉到 $\phi 3$ mm 线材,校直得到试样。

1.2 试验设备

电火花线切割试验在 DK77 型线切割机床上进行,其主要参数见表 1。该设备定位精度可达 5 μ m,同时具有钼丝半径自动补偿功能,是目前国内较为先进的中走丝线切割机床。机床加装自制的转台,转台轴向跳动不大于 5 μ m。切割后的试样在表面形貌采用 AOSV 型显微镜观察,表面粗糙度采用 TR200 型表面粗糙度仪测量。

表 1 DK77 型中走丝电火花线切割机床主要参数

Tab. 1 Main parameters of DK77 Medium WEDM

参数	数值
外形尺寸/mm	1650×1300
工作台行程/mm	400×450
工作台承载质量/Kg	500
最大切割厚度/mm	500
最大切割电流/A	10
电极丝直径/mm	0.10~0.25
机床质量/Kg	1800

1.3 试验方案

试验采用 $\phi 3$ mm、硬态(HV190)的 PtIr10 圆棒,直线度优于 3%。切割后的产品要求厚度(1.2±0.008) mm。试验过程为保证加工效率,不采用往复切割而提高表面质量的加工方式,因此,切割参数对表面质量及毛刺的影响至关重要。同时,如果采用传统的工件固定不动的状态切割,无法达到切割后厚度公差±0.008 mm 的要求,本文加装高精度转台,切割时 PtIr10 圆棒夹于转台夹头上 200 r/min 旋转,最终达到了(1.2±0.006) mm 的精度。

表 2 是电流对 PtIr10 合金电火花线切割影响试验方案,表 3 是脉宽对 PtIr10 电火花线切割影响试

验方案,表 4 是脉间距对 PtIr10 电火花线切割影响试验方案,表 5 是加工速度对 PtIr10 电火花线切割影响试验方案。

表 2 电流对 PtIr10 电火花线切割影响试验方案

Tab.2 Effect of current on PtIr10 WEDM

序号	丝径/mm	加工速度/(步/s)	最大电流/A	脉宽/ μ s	脉间距/ μ s
1 [#]	0.18	150	9	10	8
2 [#]	0.18	150	7	10	8
3 [#]	0.18	150	5	10	8
4 [#]	0.18	150	3	10	8

表 3 脉宽对 PtIr10 电火花线切割影响试验方案

Tab.3 Effect of pulse width on PtIr10 WEDM

丝径/mm	加工速度/(步/s)	最大电流/A	脉宽/ μ s	脉间距/ μ s
0.18	150	5	9	8
0.18	150	5	7	8
0.18	150	5	5	8
0.18	150	5	3	8

表 4 脉间距对 PtIr10 电火花线切割影响试验方案

Tab.4 T Effect of pulse spacing on PtIr10 WEDM

丝径/mm	加工速度/(步/s)	最大电流/A	脉宽/ μ s	脉间距/ μ s
0.18	150	5	5	10
0.18	150	5	5	9
0.18	150	5	5	8
0.18	150	5	5	7

表 5 加工速度对 PtIr10 电火花线切割影响试验方案

Tab.5 Effect of machining speed on PtIr10 WEDM

丝径/mm	加工速度/(步/s)	最大电流/A	脉宽/ μ s	脉间距/ μ s
0.18	130	5	5	9
0.18	150	5	5	9
0.18	170	5	5	9
0.18	190	5	5	9

2 结果与分析

2.1 电流对表面质量、毛刺的影响

图 1 和图 2 是电流对表面粗糙度、毛刺的影响。随着电流的增加,材料表面粗糙度呈现上升趋势,

这是电流增加使单个的脉冲能量增大, 加工过程中平均加工电流增加, 使熔蚀材料的速度加快, 单个脉冲能量增加使放电凹坑增大同时使蚀除产物的颗粒变大, 从而导致表面粗糙度增大。而随着电流的增加, 边缘毛刺先减小后增大, 这是由于电流较小时, 钼丝放电产生的温度较低, 钼丝在工件边缘不能快速熔化工件材料而后被工作液体带走, 从而导致小电流时边缘毛刺反而增大。因此设定电流时不能过大, 会造成表面粗糙度及边缘增加, 同时, 加工电流过大, 使局部温度升高, 会增加断丝的风险。而电流过小时, 切割过程很难正常进行, 导致切割丝在切割表面来回非正常晃动, 同样造成表面粗糙度增加、边缘毛刺增加, 同时增加断丝风险。

边缘时, 不能快速熔化工件材料被工作液体带走, 从而导致毛刺较大, 同时没有被工作液体及时带走的切屑粘附于表面导致表面粗糙度高。随着脉冲宽度的进一步增大, 这种现象得到改善, 表面粗糙度及边缘毛刺均有小幅度下降, 随着脉冲宽度的进一步增加, 脉冲能量增大, 放电凹坑也随之增大, 造成了表面粗糙度、边缘毛刺高度的增加。同时过大的脉冲宽度会造成峰值电流过大, 影响切割熔蚀物的排除, 从而影响加工精度。同时, 脉冲宽度过小时, 由于脉冲能量不足, 切割过程中, 切割丝处于非正常切割状态“切不动”, 导致切割丝在切割表面来回非正常晃动, 同样造成表面粗糙度增加、边缘毛刺增加, 同时还容易造成断丝。

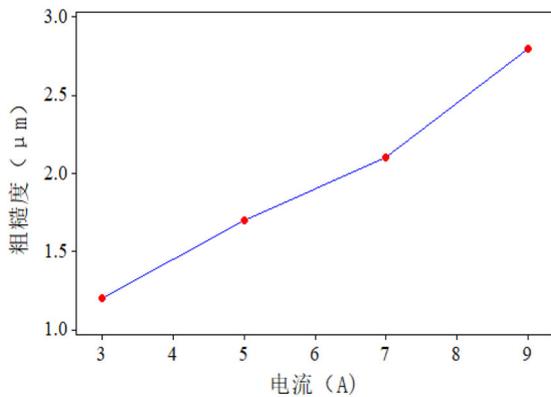


图 1 电流对表面粗糙度的影响

Fig.1 Effect of current on surface roughness

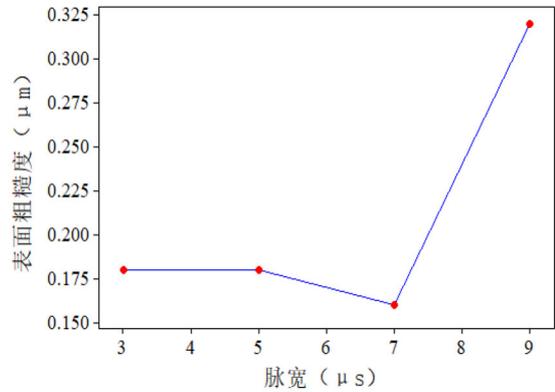


图 3 脉宽对表面粗糙度的影响

Fig.3 Effect of pulse width on surface roughness

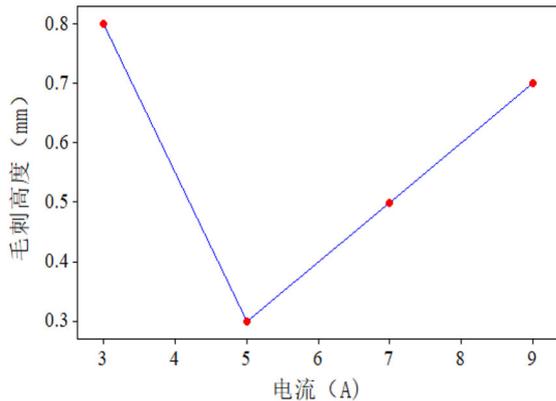


图 2 电流对毛刺的影响

Fig.2 Effect of electric current on burrs

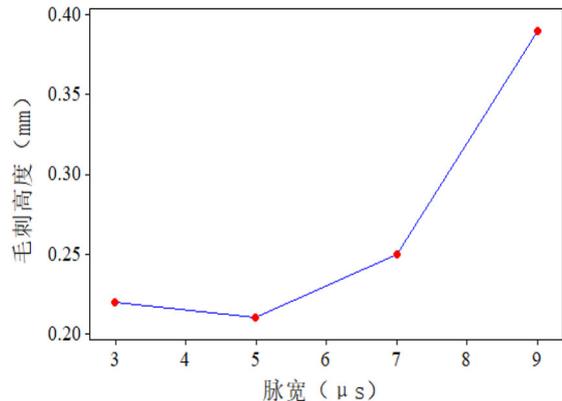


图 4 脉宽对毛刺的影响

Fig.4 Effect of pulse width on burrs

2.2 脉宽对表面质量、毛刺的影响

图 3 和图 4 是脉宽对表面粗糙度、毛刺的影响。随着脉冲宽度的增加, 切割表面粗糙度及边缘毛刺呈现先小幅度减小再大幅度上升趋势。这是由于脉宽较小时, 单位时间内放电能量较小, 切割到工件

2.3 脉间距对表面质量、毛刺的影响

图 5 和图 6 是脉间距对表面粗糙度、毛刺的影响。按照理论分析一般脉间距增大时, 单位时间内的脉冲能量减少, 造成材料蚀除的速度减慢, 材料去除率降低, 表面粗糙度也会因为脉冲能量的降低

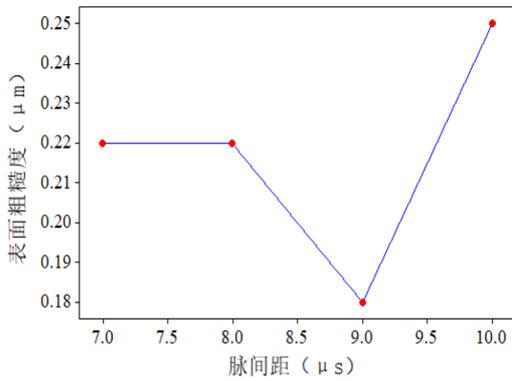


图 5 脉间距对表面粗糙度的影响

Fig.5 Effect of pulse spacing on surface roughness

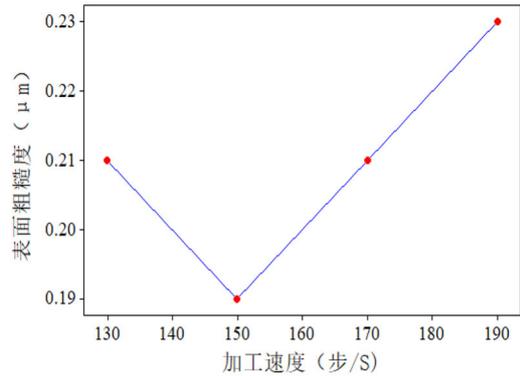


图 7 加工速度对表面粗糙度的影响

Fig.7 Effect of machining speed on surface roughness

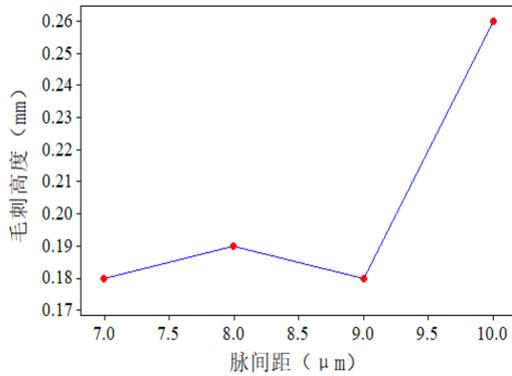


图 6 脉间距对毛刺的影响

Fig.6 Effect of pulse spacing on burrs

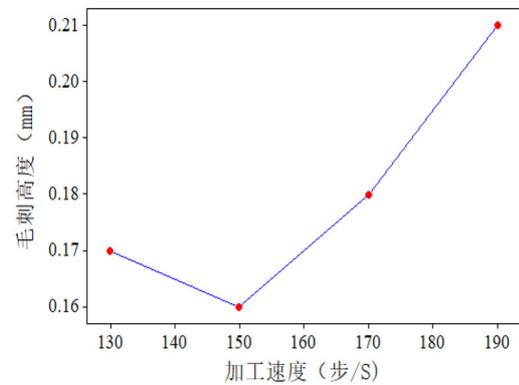


图 8 加工速度对对毛刺的影响

Fig.8 Effect of processing speed on burrs

而升高。从图 5 和图 6 可以看出，脉冲间隔对材料表面粗糙度及边缘毛刺的影响规律均呈先略微波动后下降再上升的趋势，分析认为，脉间距的影响类似于电流、脉宽对表面粗糙度、边缘毛刺的影响。

2.4 加工速度对表面质量、毛刺的影响

图 7 和图 8 是加工速度对表面粗糙度、边缘毛刺的影响。

由图 7、8 可看出呈先下降再上升趋势。因为加工速度的提高有利于排屑和火花通道的消电离，但同时会造成电极丝的机械振动和往复运动频率增加，使得对材料的熔蚀不均匀，从而增加表面粗糙度和边缘毛刺。而过低的走丝速度会造成排屑效率低下，熔蚀物不能及时排除，一部分没有来得及排出的熔蚀物会重新凝结在工件表面，造成了表面粗糙度及边缘毛刺增大。

2.5 工艺参数优化试验及结果

通过对实验结果的分析可知，电流、脉宽、脉间距、加工速度是影响切割表面表面粗糙度及边缘毛刺的主要因素，同时，相较于粗的电极丝其放电熔蚀的凹坑比较深，细的电极丝其熔蚀坑较浅。根据试验结果更改电极丝的直径，重新制定了优化试验方案及试验结果见表 6。

表 6 优化的工艺参数及试验结果

Tab.6 The optimized process parameters and test results

工艺参数					试验结果	
丝径 /mm	加工速度/(步/s)	电流 /A	脉宽 / μs	脉间距 / μs	表面粗糙度/ μm	边缘毛刺高度/mm
0.1	150	5	5	9	0.14	0.15

3 结论

1) 电火花线切割加工过程的参数组合(电流、脉宽、脉间距、加工速度、钼丝直径)对加工后材料的表面粗糙度及边缘毛刺有重要影响。

2) 电流为 5 A、脉宽 51 μs 、脉间距 5 μs 时、加工速度 150 步/S、钼丝直径 0.1 mm 时加工效果最佳,表面粗糙度 Ra 值为 0.14 μm ,同时,加入高精度转台后,切割精度公差达到 ± 0.006 mm。

参考文献:

- [1] 高飞,白海清,沈钰. 高速钢电火花线切割锥度加工试验研究[J]. 工艺与制造, 2019(9): 74-75.
- [2] 陈德忠. 电火花线切割加工技术在模具制造过程中的应用[J]. 机器人(冷加工), 2003(6): 22-24.
- [3] 楼乐明,李明辉,彭颖红. 快走丝电火花线切割加工工艺参数的优化选取[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(10):1441-1443.
- [4] 殷静凯. Cr12MoV 的电火花线切割加工工艺参数研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2016.
- [5] 戴士杰,侯建英,管啸天. 电火花线切割加工工艺指标的影响因素及其改进措施的研究[J]. 机械设计与制造, 2008(9): 228-230.
- [6] 刘志东,程国柱,李建军. 电火花线切割温度场有限元分析及参数验证[J]. 中国机械工程, 2010, 21(1): 38-42.
- [7] 宗晓明,高飞,权超健,等. GCr15 轴承钢电火花线切割工艺参数优化[J]. 轴承, 2020(7): 9-14.
- [8] 肖雨辰,唐会毅,吴保安,等. 铂铱合金的应用现状[J]. 功能材料, 2020(5): 05053-05057.