

文章编号:1007-2853(2011)09-0061-04

# 微通道散热器长直微通道的新加工工艺研究

杨凯钧<sup>1</sup>, 左春桢<sup>1</sup>, 丁发喜<sup>2</sup>, 王克军<sup>3</sup>, 吕海武<sup>4</sup>, 曹倩倩<sup>1</sup>, 王吉顺<sup>4</sup>

(1. 吉林大学 机械科学与工程学院, 吉林 长春 132025; 2. 中油吉林石化公司 电石厂, 吉林 吉林 132022; 3. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130025; 4. 中油吉林石化公司 仪表有限责任公司, 吉林 吉林 132022)

**摘要:** 微通道散热器的加工是微通道散热器的核心问题之一, 越来越受到广泛的关注。目前, 研究人员在加工长度 1 000 ~ 5 000  $\mu\text{m}$ 、宽度 5 ~ 500  $\mu\text{m}$  范围内, 可以达到加工的要求, 而长度大于此范围的加工工艺实现比较困难。针对此问题, 本文采用数控电火花线切割方法, 通过研究线电极补偿、脉宽、脉冲间隔等主要加工参数对微通道成型尺寸的影响, 通过实验对比分析确定合理的加工参数以及稳定的加工条件。结果表明, 加工长度为 94 000  $\mu\text{m}$  的微通道, 在线电极参数为 0.77  $\mu\text{m}$ , 脉冲宽度为 28  $\mu\text{s}$ , 间隔为 9  $\mu\text{s}$  的前提下, 所得到的微通道的宽度在 250 ~ 280  $\mu\text{m}$  范围内。

**关键词:** 电火花线切割; 微通道散热器; 聚光太阳能电池

中图分类号: TH 161

文献标志码: A

微通道散热器具有传热系数高、压降低、功率小等特点, 已经作为一种新颖散热结构应用于聚光太阳能电池中<sup>[1-3]</sup>。微通道的加工技术包括: 刻蚀技术、准分子激光技术、微超声加工技术、微电火花线切割技术等<sup>[4-10]</sup>。在上述技术中, 刻蚀能加工短的微通道; 但对于长直微通道的加工是困难的<sup>[4-9]</sup>。虽然准分子激光可以快速的钻微通道, 但是对于长直的微通道加工并没有得到应用<sup>[6]</sup>。微超声可以精确的加工微通道, 而更低的加工速率和易加工脆性材料的特点, 使得很难在金属材料中得到应用<sup>[7-8]</sup>。电火花线切割放电腐蚀对长直的微通道进行加工, 不仅具有简单的制作过程, 而且在加工过程中不存在机械的应力<sup>[5-10]</sup>。对线切割的主要参数进行控制, 可以获得微通道散热器的成型尺寸。本文采用电火花线切割方法, 并对主要参数, 如线电极的补偿、脉冲宽度和脉冲间隔等进行了讨论, 得到了的微肋片的厚度和微槽道的宽度。

## 1 试验加工条件

### 1.1 加工设备

试验采用 DK4500 数控加工中心, 其用于加

工微通散热器的基底。电火花切割采用 (DK7740B) 将用于腐蚀微通道散热器的微通道。

### 1.2 加工材料

加工材料将要分为电极材料和散热器材料。线电极选择 150  $\mu\text{m}$  直径的钼丝作为切削电极, 这种电极广泛的应用在电火花线切割中。铜比铝具有卓越的热传导能力, 且很容易挤压或切削。散热器材料选择为: T2 紫铜。加工材料尺寸为 100 mm  $\times$  80 mm  $\times$  6 mm, 其切割后尺寸为 94 mm  $\times$  17 mm  $\times$  6 mm。微通道基底尺寸为 94 mm  $\times$  17 mm  $\times$  4 mm。微道的尺寸为 94 000  $\mu\text{m}$   $\times$  250  $\mu\text{m}$   $\times$  1 600  $\mu\text{m}$ , 一共加工 32 个微槽。

### 1.3 加工的技术要求

加工微通道散热器的长度尺寸误差为  $\pm 10 \mu\text{m}$ , 宽度尺寸误差为  $\pm 10 \mu\text{m}$ , 微槽宽度误差为  $\pm 15 \mu\text{m}$ 。

### 1.4 现有加工方法对比

不同的加工方法, 所加工长度、宽度、深度等成型尺寸对比见表 1。从成型尺寸参数可以看出, 线切割加工的长度、宽度、深度能达到聚光太阳能电池的微通道散热器的要求。

收稿日期: 2011-08-16

基金项目: 吉林省科技发展计划项目“微流控太阳能电动车”20080353; 国家自然科学基金资助项目“微纳流体内聚合物刷与流体相互作用的多尺度模拟和实验研究”51175223)

作者简介: 杨凯钧(1980-) 男, 吉林省吉林市人, 吉林大学机械学院博士研究生, 主要从事太阳能电池冷却方面的研究。

尺寸	长度/ $\mu\text{m}$	宽度/ $\mu\text{m}$	深度/ $\mu\text{m}$	通道精度/ $\mu\text{m}$ (误差)
准分子 刻蚀	钻孔		5	最小能加工(0.5)
微超声	加工圆形	20	600	2.5
电火花线 切割	94 000	250	1 700	+1

### 1.5 加工工艺方案

1. 加工前处理: 将纯铜基底采用再结晶退火, 消除其内部的残余应力, 以防在后续加工过程中的内部应力引起的变形. 退火工艺过程主要对退火温度、退火时间、冷却速度等主要影响参数进行控制. 退火温度为  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 退火时间为  $2\sim 3\text{ h}$ . 退火完毕后, 应将紫铜基迅速放入水中以防止紫铜氧化, 产生氢病. 2、多分支流道的加工: 对于紫铜基底进行切削精细加工尺寸为  $4\text{ mm}$ . 其基底的表面粗糙度在  $5\sim 10$  范围内. 微流散热的内部结构上存在着微米量级与毫米量级的尺寸差异, 在加工过程中应该考虑加工顺序带来精度误差. 在加工过程中应该先对毫米量级的流道分配器进行加工, 然后在进行微通道的加工. 采用数控加工中心对微结构散热器的流道分配器进行切削加工. 流道分配器的尺寸为: 长度为  $17\text{ mm}$ ; 宽度为  $2\text{ mm}$ , 深度为  $2\text{ mm}$ , 共 24 个流道分配器, 结构如图 1 ~ 3、微通道的加工: 在紫铜基底的另一面, 采用数控线切割, 进行微通道的加工. 在加工前, 采用双轴定位夹具对工件进行固定. 固定时其工件的直线度为  $20\text{ }\mu\text{m}$ , 而平行度为  $10\text{ }\mu\text{m}$ . 微通道的尺寸: 长度为  $9\text{ }400\text{ }\mu\text{m}$ , 宽度为  $250\text{ }\mu\text{m}$ , 深度为  $170\text{ }\mu\text{m}$ , 共 34 通道壁和 33 个微通道, 其结构图如图 2. 其微观测量图如图 3 ~ 4 所示.

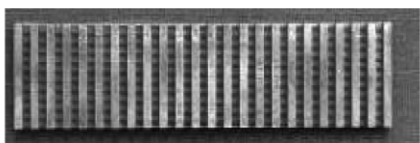


图1 通道流道分配器图



图2 微通道结构图



图3 微通道表面测量尺寸图(缩放比例1:20)

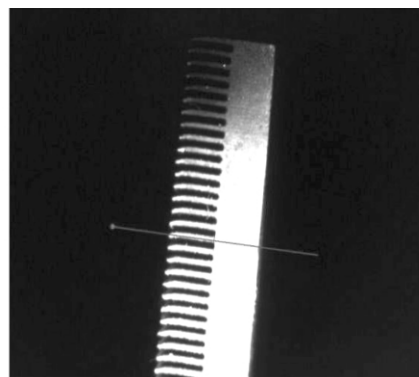


图4 微通道侧面测量尺寸图

## 2 结果分析

### 2.1 结果

当采用线电极的补偿为  $75\text{ }\mu\text{s}$ , 脉冲宽度为  $28\text{ }\mu\text{s}$ , 脉冲间隔为  $9\text{ }\mu\text{s}$  时, 对微通道散热器进行了加工. 通过三坐标仪测量, 微通道散热器的微槽道的宽度最小值为  $220\text{ }\mu\text{s}$ , 最大值为  $280\text{ }\mu\text{s}$ . 而在加工 32 个槽道时, 微通道的最大值仅出现了三次, 而微通道的最小值也出现了三次, 如图 5 所示. 在加工过程中, 其最大值与最小值的出现的概率仅为 9%, 可以达到设计的要求.

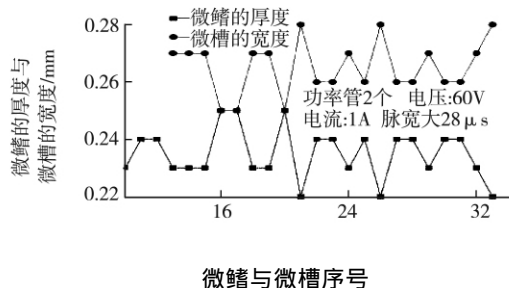


图5 每个微通道的宽度和每个微肋的厚度

## 2.2 各加工工艺操作参数的作用与选择控制

### 2.2.1 线电极的补偿

电火花线切割中,线电极补偿是指在加工过程中电极丝的行进轨迹与设计工件轮廓误差的补偿值。补偿值一般为钼丝的半径加上单边的放电间隙,即间隙补偿值  $f = r_{\text{丝}}(\text{钼丝半径}) + \delta$  (单边放电间隙),一般机器中输入的补偿值为单边补偿值,它可以大于零等于零,也可以小于零。在加工过程中,为了保证微通道的成型尺寸,所以应选负补偿值,即补偿值小于零。

如图6所示,线电极的补偿对微肋片的平均厚度和微槽的平均宽度的影响。随着线电极补偿参数的增加,微肋片的厚度增加,同时微槽的宽度也随着相应的减小。在电火花线切割中,线电极的补偿值不仅仅是电极的半径而是电极的半径与单面的放电间隙之和。因此,如果电极补偿不充分的话,切削尺寸精度不够的现象将要发生。随着电极补偿参数的增加,切削不充分相应的减小。然而,当线电极补偿太大时,将发生过切现象。当采用75的电极补偿时,可以得到所需要的微肋片的厚度和微槽的宽度,其值为250  $\mu\text{m}$ 。并且在整个加工过程中并没有放电集中的现象。因此,对线电极的直径为150  $\mu\text{m}$  获得微肋片的宽度和微槽宽度均为250  $\mu\text{m}$  的微通道散热器来说,其电极补偿参数选取75  $\mu\text{m}$  为宜。

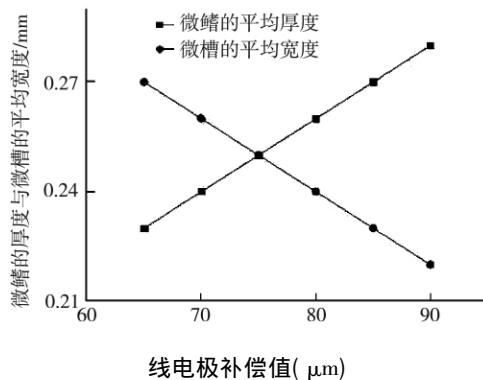


图6 线电极补偿值与微通道宽度和微肋

### 2.2.2 脉宽

图7为脉冲宽度对平均微槽道和微肋片的宽度的影响。在电火花线切割过程中为了获得更好的机械效率,通常采用长的脉宽。然而,长的脉冲宽度将产生大的脉冲能量,容易产生过切现象。而较小的脉冲宽度可以得到更宽的微肋片和更细的微通道,但却增加了一定的加工时间。随着脉冲值的增加,微肋片的宽度增加,同时,微槽道的宽度

降低。当脉冲值在28  $\mu\text{s}$  时,可以获得更精确的微槽的宽度和微肋片的宽度,其值均为250  $\mu\text{s}$ 。当脉冲宽度大于32  $\mu\text{s}$  以后,放电腐蚀对微通道的宽度产生严重的影响。因此,微缝隙的宽度变得更大同时微肋片的宽度也相应地减少。当采用脉冲宽度为60  $\mu\text{s}$  时,不能进行正常的机械加工。

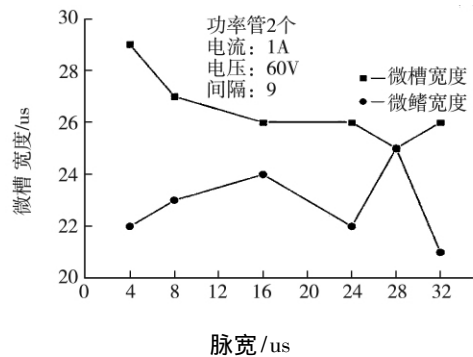


图7 脉冲宽度与微通道宽度和微肋的厚度的关系

### 2.2.3 间隙

图8为间隙值对加工电流的影响。当改变放电间隙时,随着放电间隙的减小,加工电流增加。随着放电间隙的增加,加工速度加快,同时,加工的稳定性受到影响。尤其,间隙值为3  $\mu\text{s}$  时,加工过程中断丝现象发生。当间隙值为9  $\mu\text{s}$  时,可以获得肋片的厚度和槽宽度为250  $\mu\text{m}$ 。而随着间隙值的减小,其槽的宽度增加,肋片的厚度减小。因此,对线切割加工过程中,间隔应选取为9  $\mu\text{s}$  时,可以保证加工的稳定性。

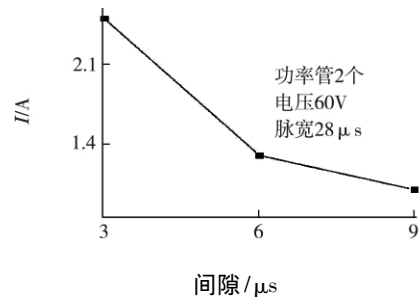


图8 加工电流与间隔的关系

## 3 试验结论

采用电火花快走丝线切割设备(DK7740B)对退火后的紫铜基底尺寸为94 mm × 17 mm 进行了长直微通道散热器加工研究。结果表明:

在不考虑其它影响因素的前提下,采用150  $\mu\text{m}$  的钼丝,其线电极补偿值为:75  $\mu\text{m}$ ,可以获得250  $\mu\text{m}$  的微通道和250  $\mu\text{m}$  微肋片的厚度。

采用 28  $\mu\text{m}$  的脉冲宽度,可以在保持一定加工速度的前提下,得到所需的加工精度。

间隙的数值对加工的速度和加工的稳定性的影响比较严重。取间隙值为 9  $\mu\text{s}$ ,既保证了加工的速度,又保证了加工的稳定性的。

## 参考文献:

- [1] Bladimir Ramos-Alvarado, Peiwen Li. et al. CFD study of liquid-cooled heat sinks with microchannel flow field configurations for electronics, fuel cells, and concentrated solar cells [J]. Applied Thermal Engineering. 2011, 31(14-15): 2494-2507.
- [2] Kermani, E. Dessiatoun, S. Shooshtari, A. et al. Experimental investigation of heat transfer performance of a manifold microchannel heat sink for cooling of concentrated solar cells [J]. Electronic Components and Technology Conference. 2009: 453-459.
- [3] Anja Royne, Christopher J. Dey, David R. Mills. Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review [J]. Solar Energy Materials and Solar cells. 2005, 86(4): 451-483.
- [4] R. K. Kupka, F. Bouamrane, C. Cremers, S. Megtert, Microfabrication: LIGA-X and applications [J]. Applied Surface Science 2000(97): 164-170.
- [5] H. S. Lim, Y. S. Wong, M. Rahman et al. A study on the machining of high-aspect ratio micro-structures using micro-EDM [J]. Journal of Materials 2003(140): 318-325.
- [6] M. J. Jackson, W. O'Neill. Laser micro-drilling of tool steel using Nd: YAG lasers [J]. Journal of Materials Processing Technology. 2003, 142(2): 517-525.
- [7] Jun-seok Lee, Deug-Woo Lee, Yoong-Ho Jung et al. A study on micro-grooving characteristics of planar lightwave circuit and glass using ultrasonic vibration cutting [J]. Journal of Materials Processing Technology. 2002(130): 396-400.
- [8] B. H. Yan, A. C. Wang, C. Y. Huang. Study of precision micro-holes in borosilicate glass using micro EDM combined with micro ultrasonic vibration machining [J]. International Journal of Machine Tool and Manufacture. 2002, 42(10): 1105-1112.
- [9] Mark T. Richardson, Yogesh B. Gianchandani. Achieving precision in high density bath mode micro-electro-discharge machining [J]. Journal of Micromechanics and Microengineering. 2008, 18(1): 1-12.
- [10] Philip Allen, Xiaolin Chen. Process simulation of micro electro-discharge machining on molybdenum [J]. Journal of Materials Processing Technology. 2007, 186(1-3): 345-355.

## Research in A new processing technology of a long straight microchannel heat sink

YANG Kai-jun<sup>1</sup>, ZUO Chun-cheng<sup>1</sup>, DING Fa-Xi<sup>2</sup>,  
WANG Ke-jun<sup>3</sup>, LV Hai-Wu<sup>4</sup>, WANG Ji-Shun<sup>4</sup>

(1. College of machinery, Jilin University, Changchun City 130025, China; 2. Petrochina JiLin Petrochemical Company Calcium Carbide Factory, Jilin Province, Jilin City 132022, China; 3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences; 4. Petrochina JiLin Petrochemical company Instrument Company, Jilin Province, Jilin City 132022, China)

**Abstract:** Processing of microchannel heat sink is one of the core problems of heat sinks. Currently, when processing microchannel heat sink, 1 000 ~ 5 000  $\mu\text{m}$  in length and 5 ~ 100  $\mu\text{m}$  in width, researchers can achieve the required processing, as for the processing of micro mechanical bigger in range, there have been no reports concerned. Considering this. According to the influence of the line electrode compensation, pulse width, pulse gap parameters on the dimension precision processing, this paper presents Wire electrical discharge machining to solve microchannel processing, and analysis the influence of reasonable set of processing parameters and the stability of the processing. As is shown the processing of micro-channel 94 000  $\mu\text{m}$  in length in the following parameters, the wire electrode parameters: 0.77  $\text{mm}$ , pulse width: 28  $\mu\text{s}$ , gap: 9  $\mu\text{m}$  will result in a microchannel 250 ~ 280  $\mu\text{m}$  in width. **Key words:** wire electrical discharge machine, microchannel heat sink, concentrated solar cells.

**Key words:** Wire electrical discharge machining, heat sink, concentrated photovoltaic