

铜箔卷材剪切机切刀机构的研究*

杨丽萍, 夏东劼*

(轻工业自动化研究所, 浙江 杭州 310015)

摘要:为解决目前卷材剪切机不能满足薄型化电子铜箔剪切质量要求的难题,针对电子铜箔材质特性,研究了一种基于偏心轮连杆机构设计的切刀机构。首先,从偏心轮传动机理和摆杆的联动两方面,详细地阐述了切刀机构的运行原理;然后,对切刀啮合点的受力情况进行了分析;最后,通过样机实际测量的经验数据分析和运用 Matlab 计算数据分析,完成了切刀机构的优化设计。研究结果表明,根据铜箔厚度的不同,通过适当地调整切刀机构中摆杆及刀架的技术参数,可改善铜箔的剪切效果,解决了铜箔剪切过程中易起皱、产生铜粉的问题,满足了电子铜箔剪切的特殊要求。

关键词:剪切机;覆铜板;切刀机构;铜箔

中图分类号:TH69;TH112;TG71

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)07-0781-04

Research on cutting knife institutions of copper sheet shearing machine

YANG Li-ping, XIA Dong-jie

(Research Institute for Automation of Light Industry, Hangzhou 310015, China)

Abstract: In order to solve the problem that the coil shearing machine can't meet shearing quality of thin electrolytic copper foil, a cutting knife institutions based on linkage mechanism of eccentric wheel was studied for the material characteristic of the electronic copper foil. Firstly, the operating principle of the cutting knife institutions was described in detail from the aspects of eccentric wheel transmission mechanism and linkage of the swinging rod. Then the force of cutting knife meshing point was analyzed. Finally, the optimization design of the cutting knife institutions was realized through analyzing the prototype practical measurement data and using Matlab data. The result indicates that the shearing knife institutions improves the shearing copper foil effect for the different thickness of the copper foil by adjusting the technical parameters of swinging rod and tool holder properly, solves problems of corrugation and copper powder in the process of shearing copper, and meets the special requirements of electrolytic copper foil.

Key words: shearing machine; copper clad laminates (CCL); cutting knife institutions; copper

0 引 言

覆铜板 (CCL) 是印刷电路板 (printed circuit board, PCB) 的基板材料^[1]。电子铜箔是制造 CCL 及 PCB 的重要基础原材料,被形象地喻为电子产品信号与电子传输、沟通的“神经网络”^[2]。近年来,电子信息产品的发展对 CCL 及 PCB 提出高要求的同时,也对电子铜箔的性能、品质、生产等方面提出了更严格的要求。

铜箔卷材剪切机是将卷状的铜箔按生产工艺剪切

成一定长宽尺寸的片状材料的专业设备^[3],其要求切割后的铜箔切割边没有波纹皱和铜粉。但随着电子信息产品的发展对铜箔薄型化的要求,目前生产的最薄铜箔达到 9 μm ,传统的闸刀式剪切机构已经无法满足薄型铜箔的剪切要求。

基于偏心轮连杆机构设计的切刀机构,本研究通过样机实际测量的经验数据分析和运用 Matlab 计算数据分析,实现切刀机构的优化设计。

收稿日期:2012-02-16

基金项目:国家科技型中小企业技术创新基金资助项目(10C26213301290)

作者简介:杨丽萍(1971-),女,浙江杭州人,高级工程师,主要从事 PCB/CCL 专用机械设计、机电一体化装备方面的研究与开发. E-mail: zjhzyllp@126.com

通信联系人:夏东劼,男,高级工程师. E-mail: x.dj@163.com

1 切刀机构运动的传动原理

传动原理是研究设计理论的基础,为了更好地对切刀机构剪切啮合时上、下刀的受力情况进行分析,本研究先对其传动原理进行研究,切刀机构传动简图如图 1 所示,切刀机构传动可分为偏心轮传动和摆杆摆动两部分。

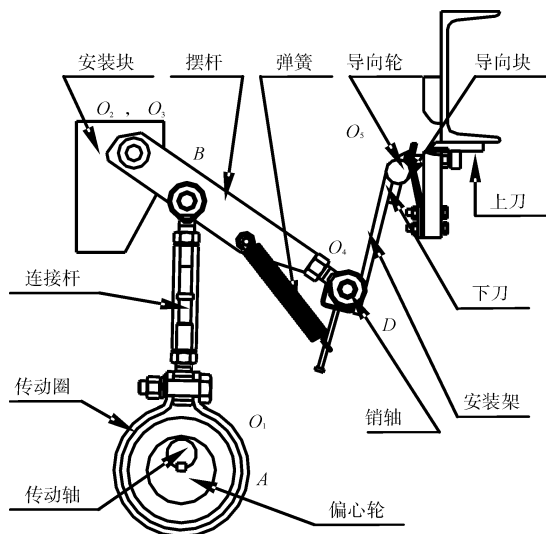


图 1 切刀机构传动简图

1.1 偏心轮传动分析

当驱动力矩由传动轴输入后,其以等角速度带动偏心轮转动,由于偏心距的存在,偏心轮通过传动圈、连杆,推动摆杆 1 和摆杆 2 绕着支点 O_2 、 O_3 做摆动,该机构是铰链四杆机构^[4]。

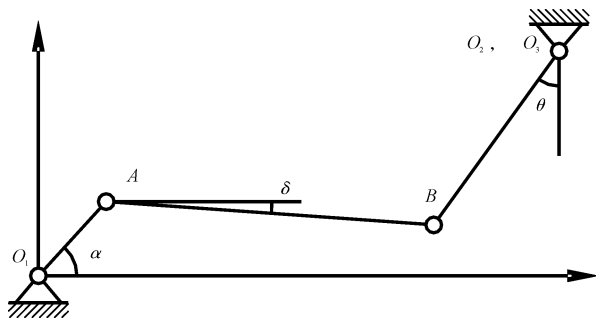


图 2 偏心轮机构简图

偏心轮机构简图如图 2 所示,本研究建立了右手坐标系, O_1 为传动轴的几何中心, O_2 、 O_3 为摆杆转动的几何中心, A 为偏心轮的几何中心, e 为偏心轮的偏心距, AB 为传动圈的半径和连接杆的长度, 设 $AB = L$, 摆杆上 B 点离支点 O_2 、 O_3 的长度为 R , 即 B 点的摆动半径。当偏心轮逆时针方向转 α 时, 摆杆顺时针方向转 θ , O_2 、 O_3 的坐标为 (X_{O2}, Y_{O2}) , e 、 L 、 R 为常数^[5-6]。

该机构的四杆组成封闭多边形。本研究取各杆在坐标轴 X 和 Y 上的投影, 可得以下关系式:

$$\begin{aligned} e \cos \alpha + L \cos \delta + R \sin \theta &= X_{O2} \\ e \sin \alpha - L \sin \delta + R \cos \theta &= Y_{O2} \end{aligned} \quad (1)$$

本研究将 $\cos \delta$ 和 $\sin \delta$ 移到等式右边, 再把等式两边平方相加, 即可消去 δ , 整理后得:

$$2e(X_{O2} \cos \alpha + Y_{O2} \sin \alpha) = X_{O2}^2 + Y_{O2}^2 + R^2 + e^2 - L^2 + 2eR \sin(\alpha + \theta) \quad (2)$$

上式即为两偏心轮与摆杆转角之间的关系式。

在该铜箔卷材剪切机中, 设计参数 $e = 11 \text{ mm}$, $L = 247 \text{ mm}$, $R = 66 \text{ mm}$, $X_{O2} = 275 \text{ mm}$, $Y_{O2} = 43 \text{ mm}$ 。代入上式, 得 α 与 θ 的关系式为:

$$275 \cos \alpha + 43 \sin \alpha = 726 \sin(\alpha + \theta) + 952 \quad (3)$$

计算可知, θ 角度值范围为 $32.9^\circ \sim 10.4^\circ$ 。

1.2 摆杆传动分析

由上述偏心轮传动分析可知, 摆杆传动简图如图 3 所示, 摆杆 1、摆杆 2 随偏心轮的转动, 分别绕支点 O_2 、 O_3 作摆动。剪刀式切刀机构的特点是把连接下刀安装架的两摆杆设计成有长度差。摆杆 1 长度小于摆杆 2, 下刀安装架设计成有一定斜度的下刀安装架, 摆杆 1、摆杆 2 一端分别固定在支点 O_2 、 O_3 , 另一端分别与下刀安装架的两端通过关节轴承、销轴联接, 下刀安装架随着摆杆的摆动可绕销轴摆动^[7]。

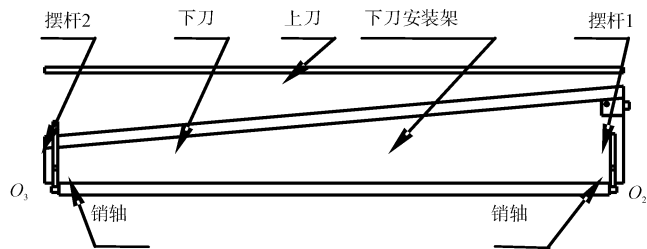


图 3 摆杆传动简图

本研究设下刀、上刀啮合的空间角度为 ξ , 分别以 O_2 、 O_3 为原点建立坐标系 S_2 、 S_3 , 在 Y_3 轴上平移, 以 O_4 为原点建立坐标系 S_1 。摆杆传动的运动简图如图 4 所示。

在坐标系 S_1 中, 刀面方程为:

$$(kx + a)^2 = y^2 + z^2 \quad (4)$$

其中:

$$k = (b - a) / h$$

本研究设销轴到刀刃线的垂直距离为修正量 N , N 修正量示意图如图 5 所示, 其数值即为销轴中心到刀刃的垂直距离。修正后的曲面方程为:

$$(kx + a)^2 = y^2 + z^2 + N^2 \quad (5)$$

在坐标系 S_1 中, 直线(即上刀刃)方程为:

$$\begin{cases} x = x_0 + k_x t \\ y = y_0 + k_y t \\ z = z_0 + k_z t \end{cases} \quad (6)$$

联立式(5,6)得:

$$At^2 + 2Bt + C = 0 \quad (7)$$

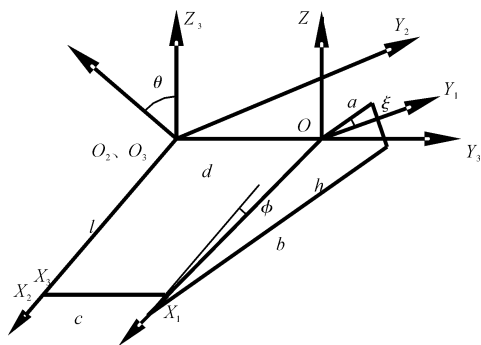
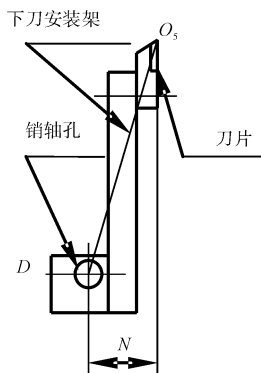


图4 摆杆传动的运动简图

c —摆杆 1 长度, mm; d —摆杆 2 长度, mm; l —两摆杆距离, mm; a —下刀安装架边长, mm; b —下刀安装架边长, mm; h —摆杆 1、摆杆 2 组成的平面斜边长度, mm; φ —摆杆斜边与 X_2 轴夹角, ($^\circ$); θ —摆杆平面与 $X_3O_3Y_3$ 面夹角, ($^\circ$); ξ —下刀安装架与 $X_1O_4Y_1$ 面夹角, ($^\circ$); N —修正量, 销轴到刀刃线的垂直距离, mm; Y —上刀排刀刀刃线在坐标系 S_1 中的 y 值, mm; Z —上刀排刀刀刃线在坐标系 S_1 中的 z 值, mm

图 5 N 修正量示意图

则: $t = (-B \pm \sqrt{B^2 - AC})/A$, 取负号。

$$\text{其中: } A = k_y^2 + k_z^2 - k^2 k_x^2, B = k_y y_0 + k_z z_0 - k k_x (k x_0 + a), C = y_0^2 + z_0^2 - (k x_0 + k_x)^2 + N^2。$$

刀面方程由坐标系 S_3 转换到 S_1 :

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ d \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

令 $x_3 = t, y_3 = Y, z_3 = Z$, 则可得:

$$\begin{bmatrix} \cos\varphi t + Y\sin\varphi\cos\theta + Z\sin\varphi\sin\theta - d\sin\varphi \\ -\sin\varphi t + Y\cos\varphi\cos\theta + Z\cos\varphi\sin\theta - d\cos\varphi \\ -Y\sin\theta + Z\cos\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x t + x_0 \\ k_y t + y_0 \\ k_z t + z_0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

且：

$$\begin{aligned} k_x &= \cos\varphi, x_0 = Y\sin\varphi\cos\theta + Z\sin\varphi\sin\theta - d\sin\varphi; \\ k_y &= -\sin\varphi, y_0 = Y\cos\varphi\cos\theta + Z\cos\varphi\sin\theta - d\cos\varphi; \\ k_z &= 0, z_0 = -Y\sin\theta + Z\cos\theta. \end{aligned}$$

在坐标系 S_1 中,可得 θ 与 ξ 之间的关系式为:

$$\tan\xi = \frac{z}{y} = \frac{z_0 + k_z t}{y_0 + k_y t} = \frac{-Y\sin\theta + Z\cos\theta}{-\sin\varphi t + Y\cos\varphi\cos\theta + Z\cos\varphi\sin\theta - d\cos\varphi} \quad (10)$$

由式(10)可知,下刀、上刀啮合的空间角度 ξ 与摆杆摆动角度 θ 的函数关系。

2 上、下刀嘴合点的受力分析

由上一小节中的分析可知,随着偏心轮的转动,连接杆相应地摆动,带动摆杆也在相应的范围内绕支点摆动,从而带动下刀安装架上的下刀与上刀 O_3 点依次啮合。通过对上、下刀啮合点作受力分析,可以知道上、下刀的啮合情况,根据所得出的理论数据可知下刀与上刀啮合的空间角度 ξ 的取值范围,故可设计出最佳的传动机构^[8]。

上、下刀啮合点的受力分析简图如图6所示^[9],本研究以 O_2 为原点,建立坐标系,任取 O_4 为两摆杆组成的平面斜边上一点, $O_2 O_4$ 即为摆杆的长度,设 O_5 为此时相对应的上、下刀啮合点。由图6可见,作用在下刀架上的驱动力 F 与该力作用点绝对速度 V_{O3} 之间所夹的锐角即为下刀与上刀啮合的角度($90^\circ-\xi$)。由图6可见,力 F 在 V_{O3} 方向的有效分力为:

$$F' = F \sin \xi \quad (11)$$

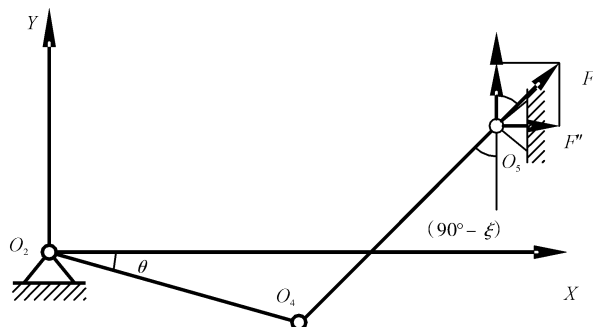


图6 上、下刀嘴合点的受力分析简图

即 ξ 越大,有效分力 F' 就越大,切割力也就越大,但刀子的磨损会增大,故 ξ 值也不应很大,也不应很小,空间角度 ξ 的取值范围应为 $70^\circ \sim 90^\circ$ 。

3 切刀机构运动的优化设计

由上述两小节分析可知,当摆杆随偏心轮转动摆动时,通过下刀安装架上的下刀与固定的上刀啮合时,下刀与上刀啮合,角度 ξ 也作相应的变化。为了达到

恒定的剪切效果,角度 ξ 在啮合过程中变化幅度应越小越好,所达到的剪切力也就越均匀,冲击小,有利于保持刀片的使用寿命。

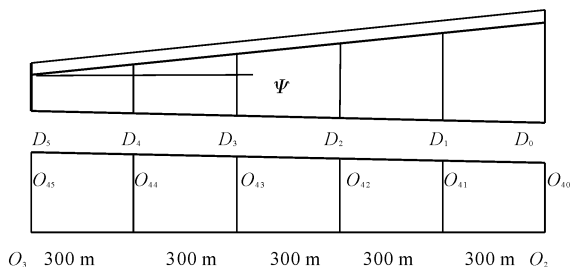


图7 分段取摆杆与下刀架啮合点

3.1 运用样机实际测量的经验数据分析

分段取摆杆与下刀架啮合点如图7所示,本研究将两摆杆距离 $l = 1\,500\text{ mm}$ 平均分成5等份。在摆杆平面的斜线上相应地就产生了6个点 O_{40} 、 O_{41} 、 O_{42} 、 O_{43} 、 O_{44} 、 O_{45} ,又同时在下刀安装架的销轴中心线上;在下刀安装架也有相应的6个点 D_0 、 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 和 D_5 ;在下刀上相应的啮合点为 O_{50} 、 O_{51} 、 O_{52} 、 O_{53} 、 O_{54} 、 O_{55} 。参考图5中所示,其中 $N = 35\text{ mm}$, O_4O_5 的长度应由下式计算得到:

$$O_4O_5 = \sqrt{N^2 + DO_5^2} \quad (12)$$

摆杆长度 $O_2O_4 = c$, $O_3O_4' = d$, 下刀安装架边长 $D_0O_5 = b$, $D_5O_5' = a$, 设 $c = 234\text{ mm}$, $d = 244\text{ mm}$, $l = 1\,500\text{ mm}$, $a = 140.7\text{ mm}$, $b = 215.2\text{ mm}$, 此时 $\varphi = 0.38^\circ$, $\psi = 2.84^\circ$ 。

对图7中各点所测量的 ξ 角度如表1所示。另因设计偏心轮 $e = 11\text{ mm}$, 同时可测得角度 θ 的变化值相应地与6个啮合点对应。由表1中数据分析可知,剪切时,大刀头开始啮合后,随着角度 θ 的减小, ξ 角度值是渐渐增大的。在现场清晰可见:下刀与上刀啮合至最后,下刀安装架越来越接近垂直,剪切力也越大,与上刀的磨损也相应地增加。

表1 分段取摆杆与下刀架啮合点的 ξ 角度参数

	O_{50}	O_{51}	O_{52}	O_{53}	O_{54}	O_{55}
O_2O_4	234.0	236.0	238.0	240.0	242.0	244.0
O_4O_5	218.4	203.3	188.7	174.0	159.5	145.0
θ	30.0°	26.0°	22.4°	18.8°	15.3°	11.9°
ξ	71.9°	74.1°	77.3°	81.4°	84.8°	88.1°

3.2 运用 Matlab 计算数据分析

运用 Matlab 编程计算 1.2 节摆杆传动分析中推出的公式(10),设计参数 $l = 1\,500\text{ mm}$, $N = 35\text{ mm}$, $Y = 271\text{ mm}$, $Z = 91\text{ mm}$ 。

分别设置参数如下:

(1) 设 $c = 224\text{ mm}$, $d = 244\text{ mm}$, $a = 140.7\text{ mm}$, $b = 215.2\text{ mm}$, 同样机设置。

(2) 设 $c = 234\text{ mm}$, $d = 244\text{ mm}$, $a = 140.7\text{ mm}$, $b = 215.2\text{ mm}$, 摆杆1长度改短,即增大 φ 角度值。

(3) 设 $c = 234\text{ mm}$, $d = 244\text{ mm}$, $a = 140.7\text{ mm}$, $b = 240\text{ mm}$, 下刀安装架大刀头尺寸 b 增大,即增大下刀安装架 ψ 角度。

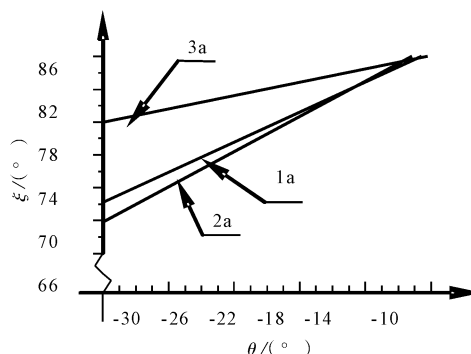


图8 角度 ξ 、 θ 的特性曲线

角度 ξ 、 θ 的特性曲线如图8所示,曲线1a、2a、3a分别为上述(1)、(2)及(3)参数设置下的角度 ξ 、角度 θ 的特性曲线。

本研究在同样的 θ 角度值变化下,增大 φ 角度值,减小初始啮合点的 ξ 角度;增大下刀安装架 ψ 值,会增大初始啮合点的 ξ 角度,但剪切至末端、接近小刀头啮合处时, ξ 角度值会趋向一致。从而可知,增大 φ 角度值,会增大 ξ 角度的变化幅度;增大下刀安装架 ψ 值,会减小 ξ 角度的变化幅度。

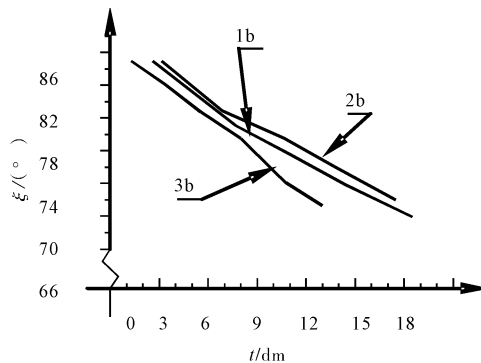


图9 角度 ξ 、 t 的特性曲线

角度 ξ 、 t 的特性曲线如图9所示,曲线1b、2b、3b分别为上述(1)、(2)及(3)参数设置下的角度 ξ 、 t 的特性曲线。其中 t 为刀片上啮合点至小刀头的距离。在同样的 θ 角度值变化下,增大 φ 角度值,会使初始啮合点向大刀头处移近;增大下刀安装架 ψ 值,会使初始啮合点向小刀头处移近。在共同的啮合范围内,取

(下转第794页)

参考文献 (References):

- [1] 闻邦椿,刘树英,何 勋. 振动机械的理论与动态设计方法[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 王运池. 国内振动给料设备的现状与发展[J]. 煤炭技术, 2003(7):29-31.
- [3] 顾平灿. 电磁振动给料器给料速度影响因素的探讨[J]. 机电工程,2008,25(6):39-41.
- [4] 伍利群. 电磁振动供料器工件的受力和运动分析[J]. 轻工机械,2003,27(1):30-33.
- [5] 胡红生,钱林方. 悬臂梁振动自适应模糊控制及 DSP 实现[J]. 机电工程,2007,24(1):46-49.
- [6] THOMSON W T, DAHLEH M D. Theory of Vibration with Applications [M]. Beijing: Tsinghua University Press,

2005.

- [7] DOI T, YOSHIDA K, TAMAI Y, et al. Feedback control for electromagnetic vibration feeder (applications of two-degrees-of-freedom proportional plus integral plus derivative controller with nonlinear element) [J]. JSME International Journal:Series C,2001,44(1):30-40.
- [8] 焦其伟,崔文会,孙宝元,等. 压电式振动给料器的研制[J]. 传感器技术,2001,20(4):23-26.
- [9] 周永红. 电磁振动给料机的力学模型与计算机控制的研究[D]. 上海:东华大学机械工程学院,2004.
- [10] 李伏书. 电磁振动给料机振幅调整经验几例[J]. 设备与管理,2003(6):38.

[编辑:张 翔]

(上接第 784 页)

刀片上任意 t 处,可知在 3 种情况下,曲线 3b 啮合点的 ξ 角度值最小,曲线 1b 啮合点的 ξ 角度值最大^[10-11]。

从而可知:增大 φ 角度值,会使上、下刀的啮合点提前;增大安装架 ψ 值,会使上、下刀的啮合点靠后。

通过上述曲线分析结论可知,在设计过程中,对于切割物料材质不同,所定制的下刀安装架的角度 ψ 值也不同。根据经验数据可知,铜箔剪切机采用的 ψ 角度设计为 2.6° 为佳。

经核算,上、下刀啮合点的经验数据符合下刀与上刀啮合的空间角度 ξ 的理论分析。在切割调试时,保证角度 ξ 的变化幅度不大,可保证切割边的切割效果前后就不会有明显的差异,切割效果就越好;但若发现切割效果前后有很大的差异,可适当地改变 φ 角度值,使啮合点位置改变,相应地改变 ξ 角度,改变剪切力,使剪切效果达到最佳。

4 结束语

铜箔卷材剪切机核心技术采用专利剪切技术(ZL200620103771.4),该剪切结构具有结构合理,剪切速度快,刀具磨损小,寿命长,噪音小等优点^[12]。本研究利用切刀机构设计原理,详细阐述了切刀机构运动的传动原理,对上、下刀的啮合点作了受力分析,分别通过样机实际测量的经验数据分析和运用 Matlab 计算数据分析,实现了对切刀机构的优化设计,取得了优化结果:适当地改变 φ 值和 ξ 值,能使剪切效果达到最佳。

该技术提高了铜箔的剪切质量,使铜箔的剪切边无波纹皱、无毛刺、无铜粉,减少了铜箔的报废,也改善了用户因铜箔剪切质量不高而导致印制电路的质量和产量下降的问题,实现了科研成果产业化,并且已推广

到其他金属和非金属箔类卷材的剪切应用,如铝箔、锡箔、纸张、塑料箔膜等,具有广阔的应用前景和良好的社会经济效益。

总之,随着用户对铜箔切割质量要求的不断更新,铜箔卷材剪切机还有很多难题,有待于进一步的研究与探讨。

参考文献 (References):

- [1] 辜信实. 覆铜板技术(1)[J]. 印制电路信息,2003(5):19-23.
- [2] 杨祥魁,刘建广,徐树民,等. 铜箔制程对 CCL 及 PCB 要求的应对[J]. 印制电路信息,2012(1):9-10.
- [3] 李清亮. 覆铜板设备的发展及现状[J]. 印制电路信息,2003(12):45-47.
- [4] 黄继昌. 实用机械机构图册[M]. 2 版. 北京:人民邮电出版社,1995.
- [5] 陶栋材. 偏心轮推杆行星传动设计理论研究[D]. 北京:中国农业大学工学院,2006.
- [6] 唐金松. 简明机械设计手册[M]. 2 版. 上海:上海科学技术出版社,2001.
- [7] 闻邦椿. 机械设计手册(第 5 卷)[M]. 北京:化学工业出版社,1997.
- [8] 成大先. 机械设计图册[M]. 北京:化学工业出版社,1997.
- [9] 赵松年,张奇鹏. 机电一体化机械系统设计[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- [10] 王 翔,芮延年. 基于 TRIZ 理论的互动玩具机构创新设计[J]. 轻工机械,2011,29(3):84-88.
- [11] 谢建新,王 志,田 甜. 挂装车挂装机构的优化设计[J]. 现代制造技术与装备,2011(6):14-16.
- [12] 杨丽萍,夏东劼. 一种剪切机构:中国,ZL200620103771.4 [P]. 2007-05-09.

[编辑:张 翔]