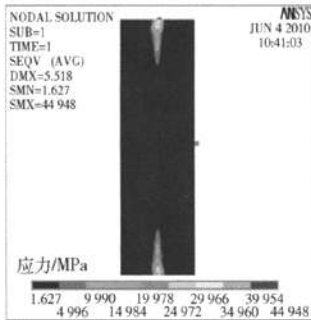
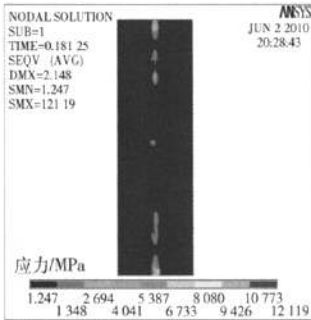


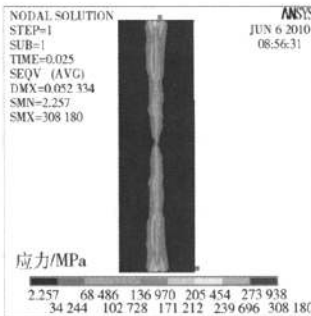
(a) 初始点接触阶段  
(a) Initial point contact stage



(b) 初始过渡阶段  
(b) Initial transition stage



(c) 过渡转阶段  
(c) Transition stage



(d) 稳定接触阶段  
(d) Steady contact stage

图 5 锯切过程应力分布仿真图

Fig. 5 Stress distribution of cutting process

## 2 电镀金刚石线锯锯切轨迹实验研究

### 2.1 实验装置

实验设备采用 SXZ-2 型往复金刚石线锯切割机,主要部件如图 6,其主要用于加工贵重或者硬脆材料,走丝速度  $0 \sim 2 \text{ m/s}$  连续可调;进给速度分为低速和高速,最低可达  $0.01 \text{ mm/min}$ ;张力由气压调节阀控制气缸来实现。

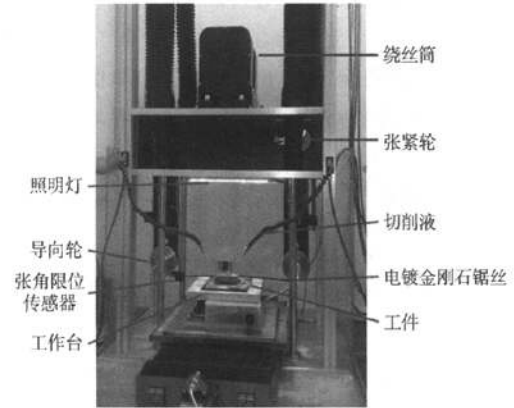


图 6 实验装置图

Fig. 6 Experimental equipment

### 2.2 实验条件

实验采用国产  $\phi 0.3 \text{ mm}$  的电镀金刚石线锯,左右导丝轮的中心距  $500 \text{ mm}$ ,金刚石线锯在切割过程中的挠曲量有光电传感器控制,最大挠曲量小于  $5 \text{ mm}$ 。具体的实验条件见表 1 所示。

表 1 实验条件

Tab. 1 The experimental conditions

参数	数值
锯丝张力/N	15
走丝速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	1.0
进给速度/ $(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	0.1
工件宽度 $b/\text{mm}$	80
切削液	水
锯丝包角 $\theta/(\circ)$	1.7
滑轮半径 $R/\text{mm}$	100
电镀金刚石锯丝直径/mm	0.3
从 A 点到工件的距离 $L_1/\text{mm}$	210
从 B 点到工件的距离 $L_2/\text{mm}$	210
切割抗力在进给方向的分量 $F_n/\text{N}$	15.5
切割抗力在线锯移动方向的分量 $F_t/\text{N}$	4.67

### 2.3 实验结果

为了根据(11)式求出的曲线形状来确认是否

表示出切割加工中的线锯形状,将以加工条件为参数进行计算出的轨迹形状与切割实验中切割达到稳定状态后得到的截面轨迹进行比较。

由(11)式和表1可得

$$y = 3x + \frac{88\ 894}{125} \ln(-5\ 996 + 25x) - \frac{177\ 788}{125} \ln 2 - \frac{88\ 894}{125} \ln 1\ 499 - \frac{88\ 894\pi}{125}$$

采用 Matlab 绘制解析曲线如图7所示。

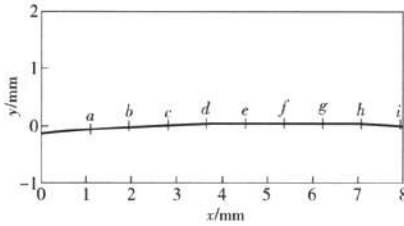


图7 理论轨迹曲线

Fig.7 Theoretical trajectory curve

实验切片的轨迹曲线如图8所示。

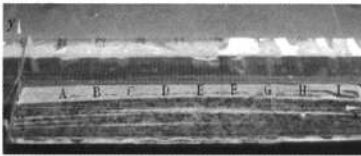


图8 切片的轨迹曲线

Fig.8 Actual trajectory curve

在解析曲线和切片轨迹曲线上取右端对应位置为原点,建立如图8坐标系,间隔相等的距离选取相对应的9个点A(a)、B(b)、C(c)、D(d)、E(e)、F(f)、G(g)、H(h)、I(i)进行测量,比较理论值与实际值之间的误差,见表2所示。

表2 实验与计算值对比

Tab.2 Comparison of test and calculated data

坐标点	y 实验值/mm	y 计算值/mm	误差/%
A/(a)	0.651	0.718	9.3
B/(b)	1.024	1.089	6.0
C/(c)	1.219	1.377	11.4
D/(d)	1.393	1.566	11.0
E/(e)	1.491	1.694	11.9
F/(f)	1.466	1.567	6.4
G/(g)	1.357	1.506	9.8
H/(h)	1.185	1.351	12.2
I/(i)	0.925	1.153	19.7

由上述数据可得:解析曲线与切片轨迹的误差小于15%,吻合程度较高,故可以用解析曲线模拟切片的锯切轨迹。在C(c)到E(e)之间(占宽度b的43%)误差的变动范围0.9%,轨迹直线度高,但同时右端位置吻合程度不够高,分析可能的原因如下:

1)由于数值较小,测量出现的误差对结果有一定的影响。

2)对切片轨迹进行描图时出现误差对后续结果的处理也有很大的影响。

3)由于实验设备采用SXZ-2型往复金刚石线锯切割机,往复运动线锯切割,锯丝运动要经过减速、停顿、换向、加速等过程,对曲线两端影响很大。

4)因锯切力所引起的锯丝张力在松边小而在紧边大,张力的不同,势必导致锯丝对工件压力的不同,压力大的紧边的锯切速度快于松边,使得其曲率进一步减少而略小于圆弧;与之相反,松边的曲率将略大于圆弧。由于频繁的换向,工件两端切痕与解析曲线相比较深。

### 3 结论

通过采用 $\phi 0.3\text{ mm}$ 的电镀金刚石线锯进行切割大理石实验,观察切片的实验结果,分析工件的应力状态,得出以下结论:

1)在锯切过程的开始阶段,锯丝和工件由只在局部的棱角处的点相接触,随着加工的进行,渐变成切割线接触,挠曲量y不断积累,形成曲线接触,最后形成一条连续光滑的加工曲线。

2)电镀金刚石线锯锯切曲线上的锯切力与该点的曲率半径成反比;与该处的张力有关,故在开始阶段尖角虽然被磨平,但整条锯切曲线的曲率半径相差仍然非常大,曲率半径值比其它地方小得多,其锯切速度将远远快于其它部位,锯丝承受较大的应力。因此为避免拐角处锯丝受力过大和降低寿命,在开始阶段要降低走丝速度和进给速度,减小锯丝的应力变形。

3)根据切割加工时线锯的挠曲形状,可以确定实际加工参数:径向力、锯丝包角 $\theta$ ,进而可以得到 $F_n$ 、 $F_t$ 。并根据该挠曲形状解析切割时线锯内发生的应力,确定加工采用合适的张力。

### 参考文献 (References)

- [1] 徐慧,王俊家,刘继光,等. 弧面石材垂直往复式锯机特性分析[J]. 石材,2003,(2):11-15.