

# 音叉的材料及加工

许昌继电器厂 华南铭

音叉是我厂 ZYD—30 远动装置中的重要零件,它的质量直接影响到远动装置的可靠性及稳定性,由于其材料特殊,形状单薄,尺寸精度要求高,使加工非常困难,废品率高,长期以来形成生产关键。经过我们反复实践,不断改进解决了这个问题。我们把原来采用的棒料改为板材,并进行稳定处理,采用反问整体线切割解决了变形问题,保证了尺寸精度,提高了生产效率,进一步又采用连续线切割的方法,使线切割效率提高 30%,节省材料 25%。针对热轧材料进行热处理工艺试验,测定了频率温度系数,使材料性能达到了技术要求,具体情况介绍如下:

## 一、音叉的材料性能

音叉材料我厂是采用 3J58 弹性精密合金,其主要成份及性能如表一所示。

3J58 合金的成份及主要性能

表一

符 号	冶金部	主 要 成 份 %					主 要 性 能		
	代号	镍	铬	铝	钛	铁	频率温度系数 $\frac{1}{f} \frac{df}{dt}$	弹性模数 E	机械品质因素 Q
Zi43GTi	3J58	43.5	5.5	0.6	2.5	余量	$\leq \pm 5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$	$\geq 18500$	$\geq 10000$

由表一可看到 3J58 是一种镍铬钛合金,它具有极低的频率温度系数和高机械品质因素,频率温度系数为  $\leq \pm 5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ,而一般碳钢为  $-240 \times 10^{-6}$ 。仅是碳钢的  $\frac{1}{48}$ ,低的频率温度系数,保证在环境温度变化的情况下频率变化很少,从而保证了装置稳定性及可靠性。

这种镍铬钛恒弹合金的性能包括  $\frac{1}{f} \frac{df}{dt}$ , EQ 均受三个主要因素的影响而波动。

(一)合金的化学成份,主要是镍铬含量的影响;(二)加工状态如软化淬火温度及最后冷加工率等;(三)成品热处理(即回火)。合金成份及加工状态已由供料制造单位所决定,由于这种合金的成份及加工状态对频率温度系数影响较为敏感,使用单位要得到最好的性能必需对成品加以足够的重视,针对每批材料的不同采用不同的处理温度。

材料供应状态以冷轧为标准，因为冷轧性能比较稳定的一般采用980~1000°C进行淬火软化，采用30—50%的冷加工率，冷加工后，机械性能及物理性能均有所提高，而热轧状态由于终轧温度及冷却速度均是不稳定的，不能保证性能要求，必须经淬火及回火热处理后才能达到，同时热轧材料尺寸形状不精确，加工量大。

## 二、频率温度系数的测定

频率温度系数是音叉的重要技术指标，同时它受到热处理等工艺因素的影响，因此，必需对它进行测量鉴定。

我厂的音叉与陶瓷压电片组成压电换能器，因此我们实际上是测定压电换能器的频率温度系数，其测试设备方框图如图一所示

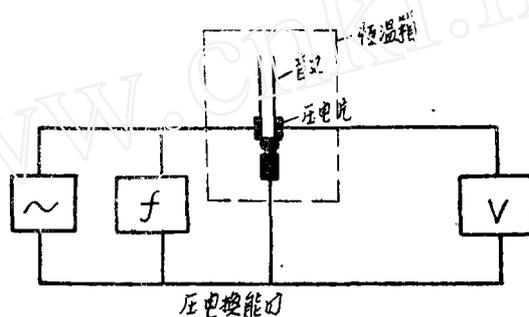


图1 压电换能器频率温度系数测定方框图

- ~——XFD-7A型低频信号发生器
- f——数字式频率计ZPJ-A型转速频率计
- V——真空管电压表DYF-5型

测定时频率发生器，产生频率通过左边的压电片变为机械能使音叉产生振荡，右边的压电片由于受机械振荡转变为电能调整频率发生器使输出电压达到最大，观察数字式频率计的频率数值，这数值就是该换压器的固有频率，然后按下列公式进行计算。

$$\text{频率温度系数 } \beta = \frac{1}{f} \frac{df}{dt}$$

式中

f 为原有频率

df为频率变化值

dt为温度变化值

## 三、热处理工艺试验

3J58恒弹性合金它是属于弥散硬化型Fe-Ni系恒弹性合金，热处理通常采用高温淬火，然后回火的方法，淬火工序一般在冶金工厂已进行，使用厂进行回火处理就可

以,从金相及电子显微镜分析结果认为,合金是从 $500^{\circ}\text{C}$ 才开始析出弥散相,随着回火温度的提高,析出数量增多,超过 $700^{\circ}\text{C}$ 开始聚集长大。由于化学成份及冶金工艺的不同,最好性能的处理温度往往是根据每批材料进行试验来确定。

我厂本批 3J5 8 5.5 mm 板材是北京某厂生产的热轧材料。为了了解其性能情况制订生产工艺,试验了以下几种回火规范 $400^{\circ}\text{C}$ , $500^{\circ}\text{C}$ , $650^{\circ}\text{C}$ , $680^{\circ}\text{C}$ ,其中 $400^{\circ}\text{C}$ 主要起稳定作用,在氢气保护中进行保温时间皆为 4 小时。

由于我们测定的是换能器的频率温度系数,其系数值受到陶瓷压电片的影响,我厂采用的压电片型号为 PZT-5 型,其频率温度系数为 $-(1\sim 4)\times 10^{-11}/^{\circ}\text{C}$ ,与音叉组成的换能器其频率温度系数应小于 $-5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

处理温度对换能器频率温度系数的影响如表二所示。

不同处理温度下换能器的频率温度

表二

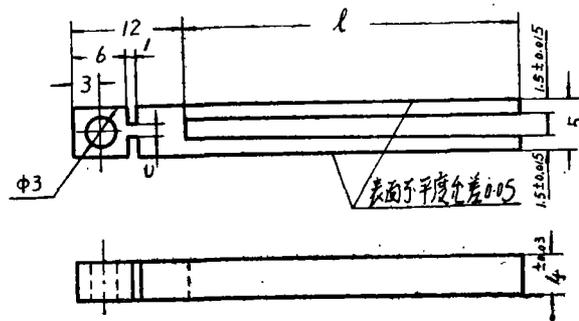
处理温度	$400^{\circ}\text{C}$	$500^{\circ}\text{C}$	$650^{\circ}\text{C}$	$680^{\circ}\text{C}$
技术要求	$-4\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$-4.25\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$-21\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$-23.5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

由表二可看到采用 $400^{\circ}\text{C}$ 、 $500^{\circ}\text{C}$ 处理,频率温度系数,符合技术要求,采用 $650^{\circ}\text{C}$ 、 $680^{\circ}\text{C}$ 处理将造成废品。

按 3J5 8 材料本身性能其频率温度系数是可达 $\leq \pm 5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。但由于陶瓷压电片的影响,使频率温度系数只能达到 $-5\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ,增加了一个数量级,按有关资料介绍,若采用 PZT-6 陶瓷压电片其频率温度系数为 $-(1\sim 4)\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 与音叉组成的换能器可达到 $1\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

#### 四、音叉的加工

音叉是一种镍铬钛合金,它硬度高 $\text{HR}_{c} 27\sim 35$ ,合金元素多,加工时容易发热变形,同时音叉尺寸精度要求高,形状单薄,加工是比较困难的。我厂音叉根据不同的频率要求有九种规格具体尺寸如图二所示



(图 2)

2350	9	8 XJ	419 001 9	34.3	22.3	0.8
2250	8	8 XJ	419 001 8	34.8	22.8	0.8
2150	7	8 XJ	419 001 7	35.3	23.3	0.8
2050	6	8 XJ	419 001 6	35.9	23.9	0.8
1950	5	8 XJ	419 001 5	36.5	24.5	1.0
1850	4	8 XJ	419 001 4	37.2	25.2	1.0
1750	3	8 XJ	419 001 3	37.9	25.9	1.0
1650	2	8 XJ	419 001 2	38.7	26.7	1.0
1550	1	8 XJ	419 001 1	39.5	27.5	1.0
设计频率	序号	图	号	总长	1	C

### I 我厂原来采用的加工方法

按加工槽口的方式我厂曾采用过铣加工及线切割槽形加工二种方法。

#### (1) 铣加工

工艺路线为①备料 8 并校直；②切断；③刨成 $4.5 \times 5.5$ 条；④车床切断；⑤磨 $4 \pm 0.01$ ；⑥磨 $5 \pm 0.005$ （工艺要求，为了保证铣槽正确）；⑦磨二端面；⑧退磁；⑨钻 3 孔；⑩铣槽口；⑪铣二侧槽；⑫直正；⑬热处理。

铣加工主要缺点：①铣刀消耗大。由于材料合金元素多，硬度高，铣刀很易变钝，每加工十几个另件铣刀就不能使用，若继续使用，铣口涨大不易校正形成废品，按我厂加工情况看来，好的刀具能铣十几个另件，不好的刀具只能铣几个甚至一个也铣不成。②废品率高。我厂前一阶段单铣床加工的废品率就达50%以上。③磨削困难时间长，要求 $5 \pm 0.005$ 实际上达不到，④铣加工另件必须进行钳工校正等工序，总之整个加工周期长，效率低废品率高。

铣床加工后变形情况如图三所示铣口涨大 $0.5\text{mm}$ 。

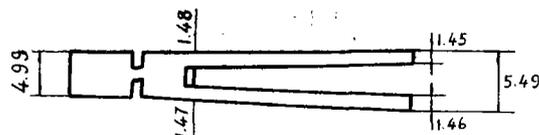
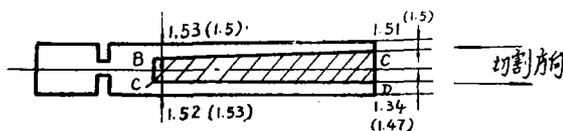


图3 铣床铣槽口后的音叉尺寸及形状

#### (2) 线切割槽口



(括号内为稳定处理后线切割另件尺寸)

图4 线切割槽形后音叉的形状和尺寸

为了解决铣槽口的关键试验过用线切割加工槽口的方法，切割方法如图四所示

切割前另件外形加工好放入夹具内定位，夹紧，按图四方向切割槽口，切割过程中另件产生变形，引起1.5尺寸上下不均，图四为变形较为严重的另件，CD段根部

为 $1.52\text{mm}$ ，顶部为 $1.34\text{mm}$ 相差 $0.18$ 造成废品，加工了70个另件只有2个合格，废品率为97%。

线切割加工的实质：线切割加工是高频电火花加工，是利用火花放电对导电材料所产生的电蚀现象，由于放电时间很短且发生在放电区的小点上，所以能量高度集中，放电区的温度很高约为 $1\text{万}\sim 1\text{万}2\text{千度}$ 引起了金属材料的熔融或蒸发，但熔化的金属微粒很快被工作液体冷却凝固，并迅速被工作液带走。

因此线切割加工的工作点虽然温度很高，但对工件整体并没有很大的影响，而影响变形的主要原因是金属的完整性被破坏，材料内部应力的存在，使工件在切割过程中产生变形，对于形状单薄抵抗变形能力差的另件更是这样，如图四所示音叉。在切割AB段时由于材料是 $5\text{mm}$ 宽有较好的强度 $1.5$ 尺寸是逐步切开的，因此基本上保持尺寸精度，到切割CD段时情况就不一样了，由于根部先被切割成 $1.5\text{mm}$ 强度减弱成为悬臂梁。材料向内弯曲，但是切割方向是不变的，故使顶部尺寸减少造成废品。事先进行稳定处理后变形情况有所好转，但由于切割方法不对，在CD段还是造成根部与顶部尺寸不一致如图四括号内的尺寸所示。

## II 改进后的加工方法

### (1) 反向整体线切割

根据上述情况采用板材稳定处理反向整体线切割如图五所示。

由图五可看到在切割AB段时与图四切槽方法相同，因此不产生变形问题，而在切割CD段时情况与图四不一样了，因CD段右侧还与板材连着强度高，所以不产生变形，而当切割EF段时与AB段情况相同 $1.5$ 尺寸是从顶部到根部逐步切开的，完全能保证 $1.5$ 尺寸的均匀性，切割后的尺寸如图五中右侧另件所示尺寸符合设计要求 $1.5$ 尺寸上下一般相差 $0.005\text{mm}\sim 0.01\text{mm}$ 或一点也不相差。

### (2) 连续切割

为了提高线切割的生产效率，我们大胆设想加以改进采用连续切割的方法如图六所示，将音叉的端面就用板材的端面，音叉的一侧与另一音叉的侧面相贴，这样使AB及CD段走空程，而EA段不用切割，这样的切割方法经过试验及生产的考验证明完全是成功的，加工后的另件尺寸精度与不连续切割相同，生产效率提高30%，材料节省25%。

## III、不同加工方法的效果比较：

连续线切割加工与铣床加工综合效果比较如下：

1. 使合格率由45%提高到95%。

• 40 •

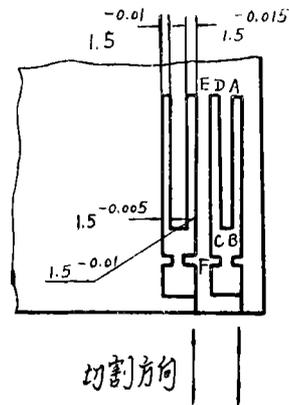


图5 反向整体线切割

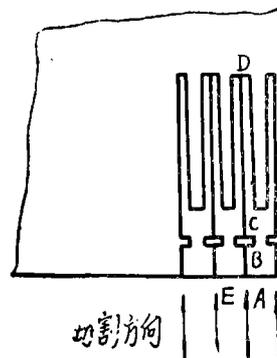


图6 连续切割

2.生产效率按纯加工时间计算提高1.2倍。但实际上由于磨削困难,铣刀寿命低,供应困难,需钳工修正废品率高等原因,原加工方法生产周期很长,而用连续线切割加工方法生产周期缩短到原来的 $1/3 \sim 1/5$ 时间。

3.解决铣刀供应的关键。

4.节省材料35%。

#### IV、改进后加工方法操作中注意事项

由于我厂是采用原有库存5.5mm热轧材料,在加工过程中主要有刨、磨、线切割及氢气处理等工序,工人同志在生产实践中有一些体会,现简要的写在下面:

1.刨工序:由于材料硬度高,韧性大,发粘,加工应力大,加工量不宜过大,否则将产生弯曲变形,每次吃刀量不大于 $0.2 \sim 0.3$ mm为好。

2.磨工序:同样由于材料的特性影响,磨削时砂轮易于脱落,引起磨削纹尺寸不一致超出公差,加工时砂轮要选择得密可以防止上述问题,我们就遇到过这样情况,同样规格硬度的砂轮( $46 \cdot ZR_1$ )由于密度低产生尺寸不均现象,另一方面加工量每次不超过 $0.03$ mm为好。

3.线切割:同时切割的数量,在设备允许的情况下增多为好,这样能提高生产效率,提高光洁度,我厂原来三块板同时切割平均每件30分,后来改为六块板同时切割,平均每块25分,今后准备进一步试验增加同时切割数量。

4.氢处理:3J58合金由于含钛元素,在加热过程中,易于氧化,为了防止氧化的产生,可采用真空处理或氢气处理,我厂是采用氢气处理,在氢气处理过程中由于气氛中存在水份及氧含量,亦使另件造成氧化,必须很好的提纯,我厂采用钽合金提纯得到满意的结果,另件处理后非常光亮。

## 五、结 语

1.3J58恒弹性材料采用冷轧状态,供应较好。

2.我厂的3J58 5.5mm热轧板性能符合技术要求,处理温度采用 $500^{\circ}\text{C}$ 以下为好,提高处理温度,使性能变坏。

3.用PZT—5陶瓷压电片与音叉组成的换能器频率温度系数可达到 $-5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ,若采用PZT—6陶瓷压电片,将能降低频率温度系数提高质量。

4.由棒料槽口铣加工的工艺方法改为板材稳定处理,反向整体连续线切割,使音叉生产关键得到解决,合格率由45%提高到95%,生产效率提高1.2倍,生产周期缩短到原来的 $1/3 \sim 1/5$ 时间,解决铣刀供应困难,节省材料35%。