

# 高频变压器知识简介

作成：叶胜财

## 一:常见不良与分析:

### 变 压 器、电 感 常 见 不 良

序 号	异 常 项	异 常 点
(一)	资 料	1.承认书内附资料不清晰.
		2.承认书内附资料不完整.
		3.承认书内附资料与实物不符.
		4.承认书内容不完整.
		5.承认书内容错误.
		6.版本有升级, 但实物仍为旧版.
		7.送样供应商与指定供应商不符.
(二)	外 观	1.未贴标签.
		2.标签内容错误.
		3.PIN 脚有黑色脏污.
		4.PIN 脚有凡立水.
		5.PIN 脚空焊.
		6.PIN 脚焊点超高, 造成实装浮高.
		7.PIN 脚焊点大, 易造成 PIN 间短路.
		8.PIN 脚歪斜.
		9.PIN 脚套管未套到位.
		10.PIN 脚未依要求剪除.
		11.本体沾有锡珠、锡渣.
		12.本体沾有废铜线.
		13.绕线外露.
		14.磁芯有断裂.
		15.BN 有破损.
(三)	结 构 尺 寸	1.本体高度超标.
		2.本体长度超标
		3.飞线长度不符合要求.
		4.PIN 脚长度超标.

		5.PIN 脚排距次尺寸不符合要求（未整脚）。
(四)	电气性能	1.感量不符合要求.
		2.漏感超标.
		3.Q 值偏低.
		4.耐压不良.
		5 耐压噪声大.
		6.带载不良.
		7.空载电压跳.
		8.整机试验出现死机.
		9.EMI 测试 NG.
(五)	工 艺	1 工艺有变更，实物仍为旧工艺.
		2.未依绕线方式（疏、密绕）要求绕线.
		3.未依绕线顺序（从初级绕到次级或从次级绕到初级）要求绕线.
		4.未依绕线方向（有的绕组要求反绕）要求绕线.
		5.绕线松散、杂乱.
		6.要求双线并绕，实物为分开绕制.
		7.要求 2P 或多 P 并绕，实物未依要求绕制.
		8.绕制层数不符合要求.
		9.起、收线错误.
		10.次级要求飞线，实物没有飞线.
		11.匝数不符合要求.
		12.线径错误.
		13.层间绝缘不符合要求.
		14.磁芯底部包胶带工艺不符合要求.
		15.内屏蔽铜箔有重叠.
		16.内屏蔽铜箔头尾相距太宽（有 8.6mm）.
		17.铜箔宽度不符合要求.
		18.屏蔽铜箔未背胶.
		19.铜箔背胶不均匀.
		20.铜箔背胶有刮伤露铜.
		21.内铜箔头尾未包胶绝缘.

	22.屏蔽绕组线头未固定.
	23.屏蔽脚位接错.
	24.未装屏蔽铁夹.
	25.包挡墙胶带位置错误.
	26.挡墙胶带缺口.
	27.抽头引出位置错误.
	28.抽头引出未套套管.
	29.BN 未开槽.
	30.标示用的套管未固定.
	31.进出线未点胶固定.
	32.磁芯间、磁芯与 BN 未点胶固定.

以上是在承认变压器、电感时发现的品质异常。这些异常中，大多数由于供应商的人员疏忽、理解错误、材料不良、作业方法不当等原因，但其中也有是因为我们开发部图纸的问题，总结如下：

### 1. 图纸版本没有升级。

图纸内容有更改，但图纸版本没有做相应的升级。采购收到这种图纸后归档，当要做样品时，疏忽之下把更改之前的旧图纸传给供应商，因其它部门一般只看图号，不会细看内容。

采购认为此图号的图纸有给过供应商，故没有把内容有更改图号没变的新图纸传给供应商。

供应商有收到新旧两份同图号图纸，一时大意按旧图纸工艺做样品送承认。

以上导致样品的外观、结构、工艺或电性与图纸不符。所以，如图纸内容有更改，还需做升级版本之动作（特别是涉及到结构与电性方面的）。能够做到明显区分。

### 2. 重点工艺没有注明详细。

一些有影响到产品的工艺和结构的方面没有在图纸上标注，如：绕线的方向（顺绕或是反绕）、绕线的方式（疏绕或是密绕）、飞线进出线的位置、产品的外围尺寸、安全距离等。如果重点没有加以说明，供应商会认为没作要求，都会以自己常规的方式去做，因为每家供应商技术水平不同，同一成品会出现多种工艺，有些供应商做的可以达到我司要求，有些则在性能、结构等某些方面却满足不了要求，因而造成品质不稳定。

如：一个变压器的高度尺寸，这个变压器装在我们的整机上空间余量很少，在图纸上没有标注这一尺寸要求，供应商很可能会选择一般的骨架，做出来的变压器实装不合适（高度太高），需重新选 BN 再做，如果一开始就有标注尺寸要求并注明需用开槽 BN，结果也就不一样。

所以产品设计一旦确定，则需把这些（影响到产品要求的工艺和结构的方面）标注在图纸上，让人一目了然，加以管控。

### 3. 图纸内容错误。

同一要求标注在图纸的不同位置，但标准不统一，引起制作人员的误解，导致做错。例如：一个变压器的结构剖面图的绕组线径与电气原理图的不一致，剖面结构图的是错的，但制作人员则参照的刚好是剖面结构图，结果也是错的。

#### 4. 制定的标准不符合实际。

按照图纸上的(工艺及材料)要求制作,但还是达不到制定的标准.原因是标准太严格,未依实际状况去制定(有包括:感量\漏感\Q值\耐压的),或是引用以前的标准。

如:一个变压器初级与次级须耐压 3750VAC/5mA/60Sec,但初级到次级的安全距离原本就不够,之间又没有加任何绝缘措施,导致耐压不良的现象产生。

以上是我们有些图纸还存在的问题,需加以改善。

一个性能好的产品=合理的设计+品质合格的原材料+规范的制作工艺。

设计是生产过程的第一步,开头这一步走正确了,在以后的生产中就会减少损失。合理的设计是既要满足电性.结构.安规等方面的要求,又要便于批量生产时的作业,减少不良品的产生。产品的设计结果将会体现在它的设计图纸上,所以我们必须把图纸内容全面、准确无误,清楚明了,便于下一单位的参照与识别。

材料的特性将会影响到产品的性能.首先需对材料的特性了解,再根据实际需要选择并指定规格(如有需要还需制造商),以满足产品性能的要求。

从以上的不良的统计,大多是工艺方面的问题,但工艺又将影响到产品的性能,所以我们需要对产品的制作工艺去了解,这样才会知道哪些工序会容易有不良的隐患产生,在设计上能否有办法克服或是描述在图纸上作为重点管控事项。

我们应尽力去避免因设计方面导致不良产生的因素出现,以免做重复的工作和减少不必要的浪费,提高工作效率。以下是图纸的制作、原材料特性、制作工艺的内容,供大家阅读。

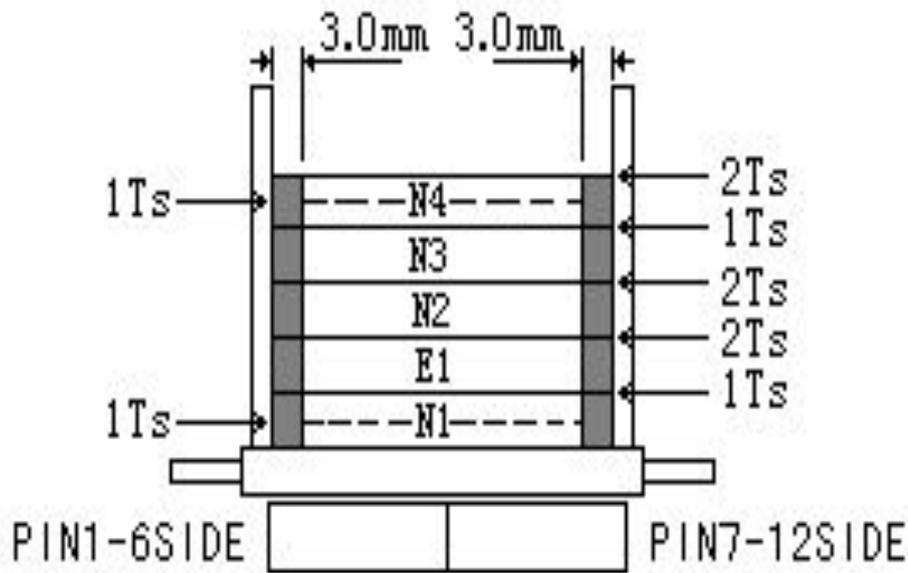
## 二:图纸的制作.

变压器的图纸须包括内容: 结构剖面图、绕组结构图、电气原理图、外观尺寸图、电性要求、工艺说明。

(一).结构剖面图:

- 1.PRI 与 SEC 或 TOP 与 PIN 的表示;
- 2.每个绕组的结构;
- 3.层间绝缘的层数;
- 4.同一绕组的层间是否加层间绝缘;
- 5.挡墙胶带的位置与宽度;
- 6.绕线的方式(疏绕、密绕、居中密绕);
- 7.如有绕线顺序要求的也须标注;

例:



(二) .绕组结构:

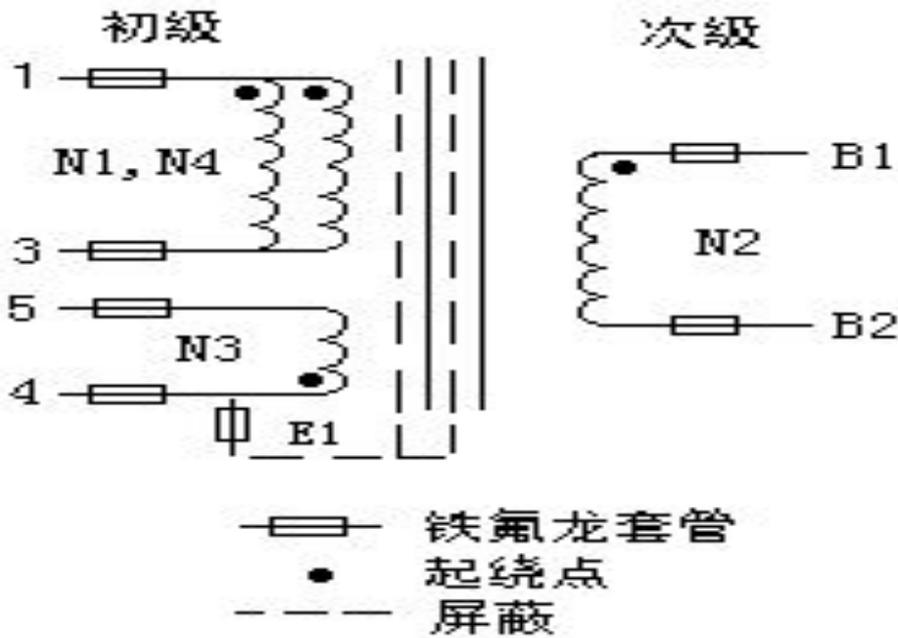
例:

绕组	起始脚	结束脚	绕组规格	圈数 (Ts)	档墙(mm)		套管(Φ)		层间绝缘 (mm)	绕线方式
					PRI/PIN	SEC/TOP	起始脚	结束脚		
N1	1	3	2UEW Φ0.23mm*1P	88	3.0	3.0	0.3	0.3	T0.05*W13.0* 1Ts	密绕
E1	4	空	铜箔 T0.05mm*W11mm (背胶 W18mm*T0.05mm)	0.9	3.0	3.0	0.3	/	T0.05/W13.0*2Ts	居中绕
N2	B1	B2	三层绝缘线 TEX-E Φ0.45mm*2P	7	3.0	3.0	1.2	1.2	T0.05/W13.0*2Ts	均绕
N3	4	5	2UEW Φ0.23mm*3P	15	3.0	3.0	0.5	0.5	T0.05/W13.0*1Ts	密绕
N4	1	3	2UEW Φ0.23mm*1P	88	3.0	3.0	0.3	0.3	T0.05/W13.0* 2Ts	密绕

(三) .电气原理图:

- 1.各绕组及其脚位的标示;
- 2.起绕脚位的标示;
- 3.是否加套管;
- 4.屏蔽的接法;
- 5.备注: 各种符号的表示.(例: “\*”表示起绕端、“-----”表示屏蔽、“”表示套套管);

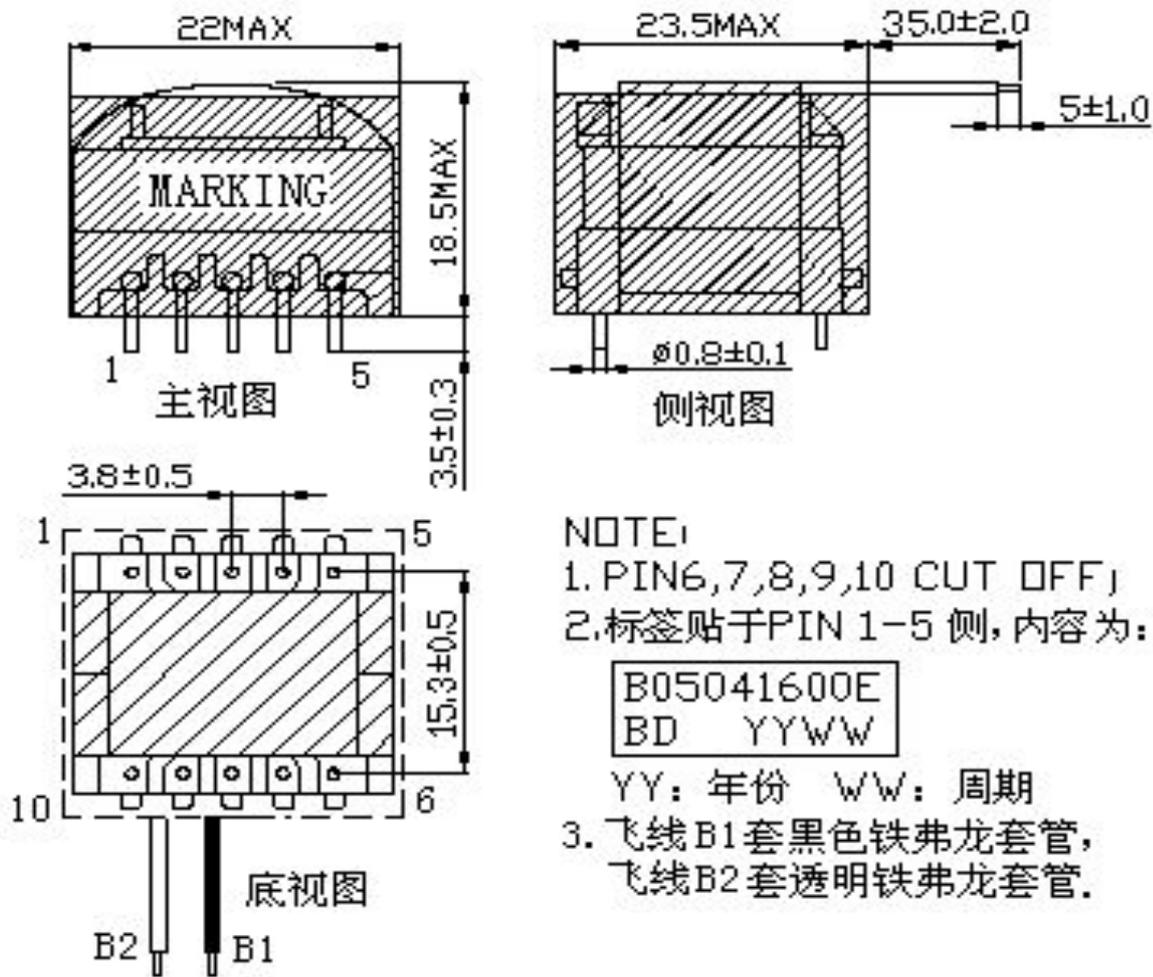
例:



(四).外观尺寸图:

- 1.要有正视图、侧视图、底视图、顶视图与脚位标注;
- 2.基本尺寸及其公差标明(如:外围长、宽、高, PIN 直径、长度、PIN 距、PIN 排距);
- 3.为满足安规距离须控制的尺寸.(如: BN 挡板的高度、底部磁芯到 BN 挡板的高度、外包铜箔到 BN 底座的距离等);
- 4.飞线的长度(一般是平侧面或顶部磁芯量起)、镀锡的长度、是否需要绞线,飞线起始脚、结束脚的区分,出线的位置;
- 5.需剪除的 PIN 脚;
- 6.标签的内容与贴法;

例:



(五) .电性要求:

- 感量 (INDUCTANCE);  
须注明测试条件与标准.
- 漏感 (LEAKAGE INDUCTANCE);  
须注明测试条件与标准.
- 直流电阻 (DC RESISTANCE);  
须注明测试条件与标准.
- Q 值;  
须注明测试条件与标准.
- 耐压 (HI-POT);  
须注明测试条件, 要求无击穿与飞弧. (是否有要求测试拉弧).

6.绝缘阻抗 (INSULATION RESISTANCE);  
须注明测试条件与标准.

(六) .工艺说明:

- 1.绕线的方向 (例: 从初级 P1-5 侧看为顺时针或反时针) .
- 2.重点制作工艺的说明;
- 3.主要材料材质与供应商的指定 (例: 磁芯与 BN 的材质及供应商);
- 4.外包铜箔及胶带的规格与工艺的说明;
5. 如是电感还需注明是否双线并绕还是分开绕制、双线是否要颜色区分、成品是否要含浸及加套管等;
- 6.是否须点胶固定 (为防止磁芯松动, 建议在 28 型以上的规格需点胶加以固定);

例:

- (1) .绕线方向从初级 P1-5 侧看为顺时针.
- (2) .N1、N4 分两层绕, 中间需加层间绝缘胶带一层.
- (3).E1 屏蔽带为 0.05\*11mm 铜箔(用 18mm 胶带背胶处理), 焊  $\Phi 0.23$  引线加套管引至 PIN4 脚;
- (4) .B1,B2 均为飞线, B1 飞线套黑色套管靠 PIN6 脚边骨架顶部出线 ; B2 套透明套管靠 PIN10 边骨架顶部出线, 两飞线套管必须伸入线包 3mm;
- (5) . 产品外围焊接 0.05\*10mm 屏蔽带一层, (铜皮用 18mm 胶带背胶, 焊  $\Phi 0.23$  引线加套管引至 PIN4 脚), 焊接前后各包 13mm 胶带两层;
- (6) .磁芯用 6mm 胶带包 3 圈, 产品外围包 18mm 胶带 2 圈.
- (7) .产品在磁芯结合处, 磁芯与 BN 结合处需点胶固定.

### 三: 原材料特性.

(一) 磁芯:

鐵氧體為暗灰色或黑色的陶瓷材料, 非常硬, 易碎, 化學性質不活潑, 大多數現代軟磁鐵氧體具有立方晶體結構.

這類鐵氧體一般由  $MeFe_2O_4$  組成, 其中 Me 代表一個或幾個二價的過渡金屬, 如錳、鋅、鎳、鈷、銅、鐵或鎂.

最普遍的結合是錳鋅 (MnZn) 或鎳鋅(NiZn), 這些化合物在某個溫度下顯示很好的磁

性, 該溫度稱為居裏溫度( $T_c$ ), 在居裏溫度下, 它們能夠很容易被磁化, 且具有很高的固有電阻率, 這些材料可以用到非常高的頻率而不需壓成薄片, 而這點通常是對金屬磁性物資的要求。NiZn 鐵氧體有非常高的電阻率, 最適用於頻率在 1MHz 以上, 而 MnZn 鐵氧體具有較高的導磁率 ( $\mu_i$ ) 和飽和電感值, 適用直至 3MHz。

## (二).磁芯的电性参数及其解释:

### 1.饱和磁密 $B_s$ :

$B_s$  的大小与测量时的条件有关,不同公司的定义有所不同。以 EPCOS 为例,其大多数软磁材料的  $B_s$  是定义为  $f = 10\text{ KHz}$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$  和  $T = 100^\circ\text{C}$ , 当  $H_m = 1200\text{ A/m}$  时的  $B$  值。

### 2.剩磁磁密 $B_r$ :

磁滯回线与纵座标的交点,当  $H = 0$  时的  $B$  值。

具有高  $B_s$  低  $B_r$  特性的磁材是我们乐于选用的,因为可以选用较高的工作磁密的幅值  $B_m$ , 并得到较高的磁密变化量  $\Delta B$ , 而使所设计的变压器和电感器的材料得到较充分的利用。

### 3.矫顽力 $H_c$ :

磁滯回线与横座标的交点,当  $B = 0$  时的  $H$  值。

$H_c$  较小的磁材其磁滯回线较窄,回线所包围的面积较小,因磁材反覆磁化时产生的磁滯损耗与此面积成正比,所以它的磁滯损耗也较小。

### 4.初始磁导率 $\mu_i$ :

当  $H$  很低时,由基本磁化曲线的斜率所确定的相对磁导率。

$$\mu_i = \mu_{r(H \rightarrow 0)} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta H} \quad (1-6)$$

测量  $\mu_i$  的条件是用 R10 - R36 的磁环绕上线圈,通以  $f = 10\text{ KHz}$  的电流,使磁密幅值  $B_m \leq 0.25\text{ mT}$ , 且测试的温度为  $25^\circ\text{C}$ 。

### 5.有效磁导率 $\mu_e$ :

除了环型、ET型和 FT 型几种磁心外,大多数磁心的磁路都不是完全闭合的,其磁路由  $\mu_i \gg 1$  的磁心和  $\mu_i \approx 1$  的气隙所组成,而由磁心材料基本磁化曲线所确定的、当  $H$  很低时的相对磁导率  $\mu_e$ , 就称为有效磁导率。显然  $\mu_e < \mu_i$ , 且随气隙的增大而减小。

设气隙的尺寸  $l_0 \ll l_e$ ,  $\mu_e$  的近似的计算公式如下:

$$\mu_e = \frac{\mu_i}{1 + \frac{l_0}{l_e} \cdot \mu_i} \quad (1-7)$$

以 EPCOS N27 EF20 磁心为例,其  $\mu_i = 2000$ ,  $l_e = 46.3 \times 10^{-3} m$ ,  $A_e = 32.1 \times 10^{-6} m^2$ ,而两只E型磁心接触面虽经研磨,仍有等效的间隙约  $10 \mu m$  左右,取  $l_0 = 8 \times 10^{-6} m$ ,则:

$$\mu_e = \frac{2000}{1 + \frac{8 \times 10^{-6}}{46.3 \times 10^{-3}} \times 2000} \approx 1490$$

带气隙的磁心材料的  $\mu_e$  值取决于其  $\mu_i$  的大小和研磨的精度,但两只磁心尺寸的偏差和装配的质量亦对  $\mu_e$  值有一定的影响。

## 6. 电感系数 $AL$ :

设图 1—2 中  $N$  圈线圈的电感量为  $L$ , 因  $L \propto N^2$ , 故每匝的电感量, 即电感系数为:

$$AL = \frac{L}{N^2} \quad nH \quad (1-8)$$

表征磁心材料特性的电感系数  $AL$  只与磁心材料的导磁性能及几何尺寸有关, 现将  $AL$  的计算公式推导为下。

$$\text{磁心线圈的感应电势: } E = N \frac{d\phi}{dt}$$

$$\text{线圈所包围磁心中的磁通: } \phi = BA_e$$

$$\text{因为: } B = \mu_0 \mu_e H = \mu_0 \mu_e \frac{IN}{l_e}$$

$$dB = \mu_0 \mu_e \frac{N}{l_e} dI$$

$$\text{所以: } E = NA_e \frac{dB}{dt}$$

$$= NA_e \cdot \mu_0 \mu_e \frac{N}{l_e} \cdot \frac{dI}{dt} = \mu_0 \mu_e N^2 \frac{A_e}{l_e} \cdot \frac{dI}{dt}$$

将上式与磁心线圈感应电势另一表达式  $E = L \frac{dI}{dt}$  相比较, 可得到线圈电感量的计算公式如下:

$$L = \mu_0 \mu_e N^2 \frac{A_e}{l_e} \quad (1-9)$$

磁心的电感系数的计算公式则为:

$$AL = \frac{L}{N^2} = \mu_0 \mu_e \frac{A_e}{l_e} \quad (1-10)$$

将式(1-10)代入(1-9),就得到我们常用的磁心线圈电感量的计算公式:

$$L = AL \cdot N^2 \quad (1-11)$$

仍以EPCOS N27 EF20磁心为例,用式(1-10)来计算其电感系数:

$$\begin{aligned} AL &= \mu_0 \mu_e \frac{A_e}{l_e} \\ &= 1.257 \times 10^{-6} \times 1490 \times \frac{32.1 \times 10^{-6}}{46.3 \times 10^{-3}} \\ &\approx 1300 \times 10^{-9} H \\ &= 1300 nH \end{aligned}$$

磁心材料的生产厂家通常都在它的产品目录中提供了各种磁心材料的  $AL$  值及其容差范围.

要注意的是,电感量  $L$  的测量通常在如下的条件下进行:  
:  $f = 10KHz$ ,  $V = 20mV \sim 100mV$  (视  $A_e \cdot N$  的大小而定),  $T = 25^\circ C$ 。

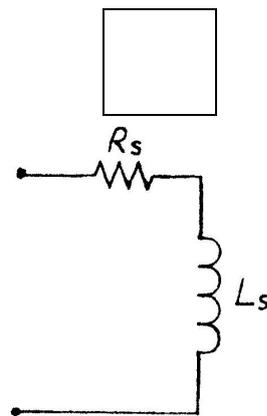
#### 7. 损耗因数 $\tan \delta_s$ 和相对损耗因数 $\tan \delta_s / \mu_i$ :

当一个为闭合磁路的磁心线圈 ( $\mu_e = \mu_i$ ) 被小信号的正弦电流  $I$  ( $f = 10KHz$ , 并使

图 1—6

$B_m = 0.25mT$ ) 磁化时,我们可以用如图 1—6 的串联等效电路来描述。忽略线圈的铜耗不计,磁心的有功损耗为:

$$P_v = I^2 R_s$$



式中,  $R_s$  为串联的损耗电阻。

图 1—6 中,  $L_s$  为串联的无损耗电感。

而等效电路的阻抗为:

$$\bar{Z}_s = R_s + j\omega L_s \quad (1-12)$$

式中  $\omega = 2 \pi f$

我们定义阻抗角余角的正切为损耗因数:

$$\tan \delta_s = \frac{R_s}{\omega L_s} \quad (1-13)$$

损耗因数与初始磁导率之比  $\tan \delta_s / \mu_i$  称为相对损耗因数,而某种有效磁导率为  $\mu_e$  的带气隙的磁心,其损耗因数可由下式求得:

$$\tan \delta_e = \frac{\tan \delta_s}{\mu_i} \cdot \mu_e \quad (1-14)$$

### 8. 复数磁导率 $\bar{\mu}$ :

仍沿用图 1—6 的串联等效电路,并将式(1-12)作如下的演变:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_s &= R_s + j\omega L_s \\ &= j\omega L_s \left(1 - j \frac{R_s}{\omega L_s}\right) \\ &= j\omega L_s (1 - j \tan \delta_s) \end{aligned}$$

磁路闭合的磁心线圈由小信号电流磁化时,线圈的电感量为:

$$L_s = \mu_0 \mu_i N^2 \frac{A_e}{l_e}$$

$$\text{所以: } \bar{Z}_s = j\omega \cdot \mu_0 \mu_i N^2 \frac{A_e}{l_e} \cdot (1 - j \tan \delta_s)$$

$$= j\omega \mu_0 N^2 \frac{A_e}{l_e} \cdot \mu_i (1 - j \tan \delta_s)$$

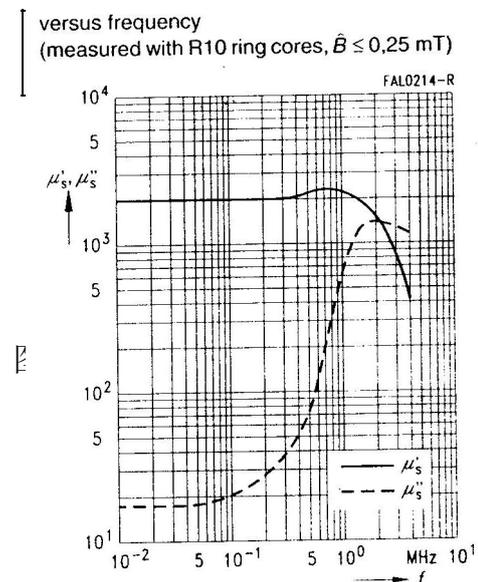
由此引入复数磁导率这一参量:

$$\begin{aligned} \bar{\mu} &= \mu_i (1 - j \tan \delta_s) \\ &= \mu'_s - j\mu''_s \quad (1-15) \end{aligned}$$

复数磁导率的实部为:  $\mu'_s = \mu_i$

复数磁导率的虚部为:  $\mu''_s = \mu_i \tan \delta_s$

图 1—7 为 EPCOS N27 磁材的  $\mu'_s$ 、 $\mu''_s$  与频率  $f$  的关系曲线。根据不同厂家所提供的  $\mu'_s = f(f)$  和  $\mu''_s = f(f)$  的曲线,可以对磁材的性能进行较全面的分析和比较,从而作出正确的选择。



### 9.磁心比损耗 $P_V$ :

磁心的比损耗  $P_V$  是磁心在频率为  $f$ , 磁密幅值为  $B_m$ , 温度为  $T$  时的总损耗与磁心的有效体积(或重量)之比, 单位为  $mW/cm^3$ ,  $KW/m^3$  (或  $mW/g$ )。

比损耗包括磁滞损耗, 涡流损耗和剩余损耗三部份,  $P_V$  的大小与  $f \cdot B_m$  和  $T$  有关, 其表达式如下:

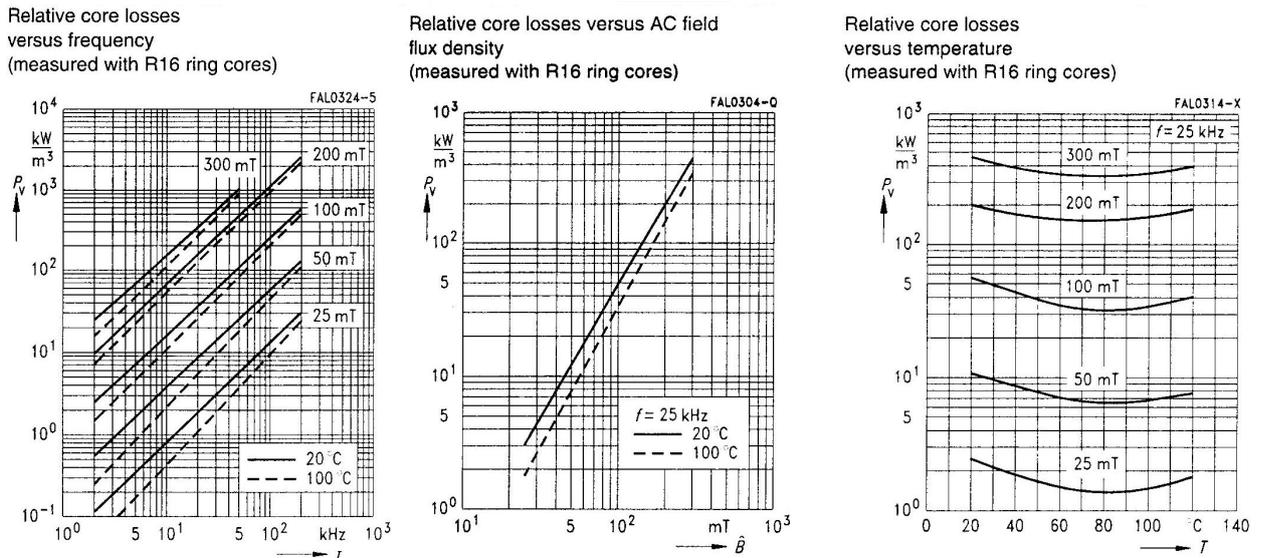
$$P_V(T) = P_h + P_e + P_r$$

$$= Kf^a B_m^b \quad (1-16)$$

式中,  $1 \leq a \leq 2$ ,  $2 \leq b \leq 3$ ; 而  $P_r$  则为计算  $P_h$  和  $P_e$  时没有考虑到的  $\Delta P_h$  和  $\Delta P_e$  之和(静态磁滞回线与动态回线族之差异, 磁密分布的不均匀, 材料微观结构的各向异性等)。

图 1—8

图 1—8 为 EPCOS 提供的 N27 的磁材  $P_V = f(f \cdot B \cdot T)$  的三组曲线族。第三组  $P_V(f = 25KHz) = f(B \cdot T)$  的曲线族表明, 当  $T$  为  $80^\circ C$  左右时,  $P_V$  最小。一般功率铁氧体材料对应于  $P_{V\min}$  的谷点在  $80^\circ C \sim 100^\circ C$  之间, 我们在  设计变压器或电感器时, 务必使磁心的



温度小于  $80^\circ C$ , 否则变压器或电感器将因铁耗—温度的“正反馈”现象而无法稳定、安全的工作, 甚至烧毁。

### 10.性能因数 $PF$ :

在后面第三章中, 我们将推导出经变压器变换而传输的功率  $P$  与变压器的工作频率  $f$  及磁密幅值  $B_m$  的乘积成正比, 即  $P = C_p f B_m$ 。当磁心的几何尺寸一定时, 我们可以提高  $f$  或  $B_m$  来增加变压器的传输功率, 但不是没有限制的, 由式(1-16)可知, 过高的  $f$  和  $B_m$  将使比损耗  $P_V$  显著增大, 从而使变压器的效率很低, 温升过高而不能经济、安全的工作。

图 1—9 为 EPCOS 提供的各种磁材的 R29 磁环, 在限定比损耗值为  $P_V = 300KW/m^3 (T = 100^\circ C)$  的条件下所测得的  $f \cdot B_{m\max} = f(f)$  曲线, 我们定义  $f$  和  $B_{m\max}$

的乘积为性能因数:

$$PF = f \cdot B_{m \max} \quad (1-17)$$

由图1—9的  $PF = f(f)$  曲线,我们可以知道各种不同磁材所适用的工作频率范围,并由对应于某工作频率  $f$  的  $f \cdot B_{m \max}$  值,求得允许的最大工作磁密的幅值  $B_{m \max}$  ( $P_V = 300KW/m^3, T = 100^\circ C$ ) 供设计变压器时参考。

图 1—9

11.温度系数:

初始磁导率的温度系数:

$$\alpha = \frac{\mu_{i2} - \mu_{i1}}{\mu_{i1}} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \quad (1-18)$$

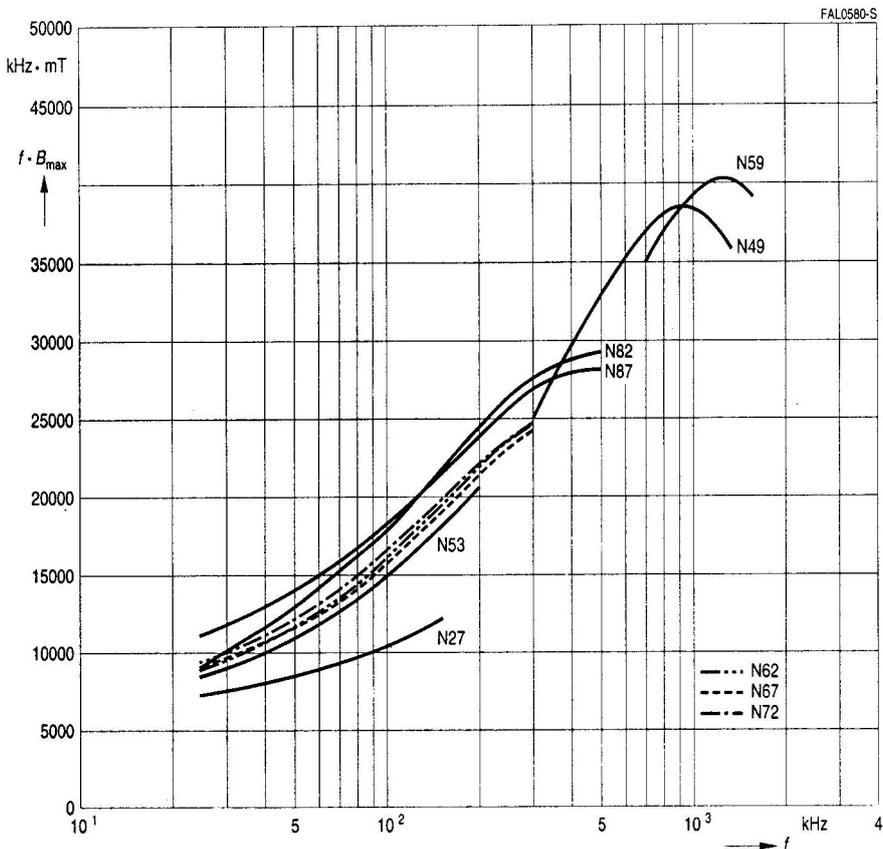
式中:  $\mu_{i1}$ ——对应于温度为  $T_1 = 25^\circ C$  的  $\mu_i$ ,

$\mu_{i2}$ ——对应于温度为  $T_2$  时的  $\mu_i$ 。

相对温度系数:



Performance factor versus frequency  
(measured with ring cores R29,  $T = 100^\circ C$ ,  $P_V = 300 kW/m^3$ )



For definition of performance factor see page 120.

$$\alpha_F = \frac{\alpha}{\mu_{i2}} = \frac{\mu_{i2} - \mu_{i1}}{\mu_{i2} \cdot \mu_{i1}} \cdot \frac{1}{T_2 - T_1} \quad (1-19)$$

对于带有气隙的磁路,有效磁导率的温度系数:

$$\alpha_{gap} = \mu_e \alpha_F \quad (1-20)$$

因为  $\alpha(\alpha_F) = f(T)$  是非线性的,通常磁材的生产厂家会给出各种磁材在某一温度范围内(例如  $25 \sim 50^\circ\text{C}$ )的  $\alpha_F$  的典型值以供参考。如果生产厂家提供了  $\mu_i = f(T)$  的曲线,那么我们就直观地了解各种磁材的温度特性,从而正确地选用所设计产品的材质。

图 1—10 为 EPCOS N27( $\mu_i = 2000 @ 25^\circ\text{C}$ ) 和 N30( $\mu_i = 4300 @ 25^\circ\text{C}$ ) 两种材料的  $\mu_i = f(T)$  的曲线。

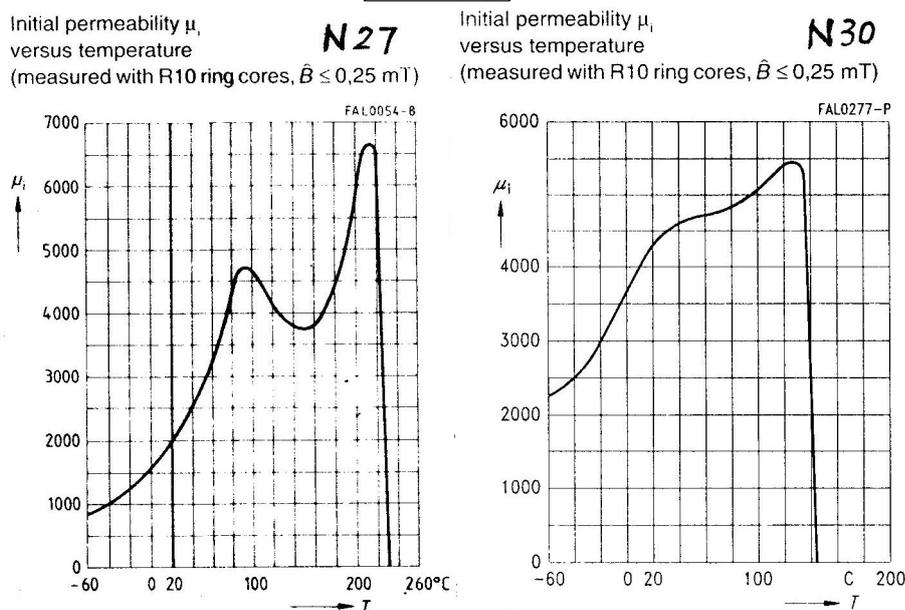
比较图 1—10 中的两条曲线,我们知道 N27 材料的相对温度系数要大的多。不同厂家  $\mu_i$  为 2500 和 5000 左右的材料都有与 N27 和 N30 相类似的温度特性,因此用  $\mu_i \approx 5000$  的材料做成的电感器件具有较好的温度稳定性。当要求铁损较小而需要选用  $\mu_i \approx 2500$  的材料时,则必需加用气隙,以提高电感器件的温度稳定性。对于要求体积较小而电感值又较大电感器件则要选用  $\mu_i \geq 7000$  的材料,但其损耗较大,且工作的频率较低。

由于软磁铁氧体磁心电感器件的电感值与温度有关,因此必需在技术条件中明确规定其测试的温度 ( $25^\circ\text{C}$ ),并尽量保持实验室的室温符合规定,对电感器件进行测试。

图 1—10

## 12. 居里温度 $T_c$ :

参看图 1—10 中  $\mu_i = f(T)$  曲线,当温度高于某一数值  $T_c$  时,  $\mu_i$  急剧下降,直至  $\mu_i \approx \mu_0$ ,这时剧烈的分子热运动,使磁畴不能在外加磁场强度的作用下而取向排列,软磁材料由铁磁性转变为顺磁性。



$T_c$  称为居里点或居里温度。由图 1—10 可以看出  $T_{c N27} \approx 220^\circ\text{C}$ , 而  $T_{c N30} \approx 130^\circ\text{C}$ 。当温度

降低至  $T < T_c$  时,软磁材料的铁磁性又会重现。

## (二) BOBBIN:

我們常用的有尼龍(NYLON)，塑膠(PET)，塑膠(PBT)、電木(PM)。

1. 電木(PM)：熱固性材料，穩定性高，不易變形，耐溫 150°C，可承受 370°C 之高溫。表面光滑，易碎，不能回收。用於耐溫較高之變壓器，(T375J 最常用)。
2. 尼龍(NYLON)：熱塑性材料，工程塑膠，延展性好，不易碎，耐溫 115°C，易吸水，使用前先用 80°C 的溫度烘烤，使固性穩定。表面光滑，半透明，不易碎。一般用於耐油性強的變壓器上。
3. 塑膠(PET)：熱塑性材料，510 系統，硬性高，易成形。不易變形，耐溫 170°C，表面不光滑，不易碎，一般用於繞線管。
4. 塑膠(PBT)：熱塑性材料，較軟，不易變形，不耐高溫(160°C)，表面不光滑，不易碎一般用於繞線管

## (三) WIRE :

普通线一般用 UEW，三层绝缘线一般用 TEX-E。

聚胺基甲酸酯漆包 (UEW) 是以 Polyurethane 樹脂為主體的油脂為絕緣皮膜，烤漆於導體而成。其最大的特點為皮膜在 300°C 以上時，能於短時間內溶解。耐溫 130°C，它以漆膜厚度分有：0UEW、1UEW、2UEW、3UEW。0UEW 漆膜厚度最大，依次排列，3UEW 最小，所以它們承受的耐压也不一样，其中 2UEW 最常用。以下列表是不同种线的漆膜厚度于耐压的区别。正因为有以下的区别，所以在设计确定时需指定其线种，避免耐压不良隐患的产生。

0UEW 漆包线的尺度与耐压				
尺度				绝缘破坏电压 V(以上)
导体		最小漆膜厚度 mm	最大完成外径 mm	
规格 mm	容许差 mm			
0.05	±0.003	0.016	0.100	3500
0.07	±0.003	0.016	0.120	3500
0.08	±0.003	0.016	0.130	3500
0.10	±0.008	0.016	0.156	3500
0.11	±0.008	0.016	0.166	3500
0.12	±0.008	0.017	0.180	3750
0.14	±0.008	0.017	0.200	3750
0.15	±0.008	0.017	0.210	3750
0.16	±0.008	0.018	0.222	3750
0.17	±0.008	0.018	0.236	3800
0.18	±0.008	0.019	0.246	3800
0.20	±0.008	0.019	0.266	3800
0.22	±0.008	0.019	0.286	3800
0.23	±0.008	0.020	0.296	3800
0.25	±0.008	0.020	0.318	3800

1UEW 漆包线的尺度与耐压				
尺度				绝缘破坏电压 V(以上)
导体		最小漆膜厚度 mm	最大完成外径 mm	
规格 mm	容许差 mm			
0.05	±0.003	0.005	0.083	1500
0.07	±0.003	0.006	0.106	1500
0.08	±0.003	0.007	0.118	2000
0.10	±0.008	0.009	0.140	2000
0.11	±0.008	0.009	0.150	2000
0.12	±0.008	0.010	0.162	2200
0.14	±0.008	0.010	0.182	2200
0.15	±0.008	0.010	0.192	2200
0.16	±0.008	0.011	0.204	2200
0.17	±0.008	0.011	0.214	2200
0.18	±0.008	0.012	0.226	2400
0.20	±0.008	0.012	0.246	2400
0.22	±0.008	0.012	0.266	2400
0.23	±0.008	0.013	0.278	2400

0.25	±0.008	0.013	0.298	2400
------	--------	-------	-------	------

2UEW 漆包线的尺度与耐压				
尺度				绝缘破坏电压 V(以上)
导体		最小漆膜厚度 mm	最大完成外径 mm	
规格 mm	容许差 mm			
0.05	±0.003	0.004	0.069	950
0.07	±0.003	0.004	0.091	950
0.08	±0.003	0.005	0.103	1100
0.10	±0.003	0.005	0.125	1100
0.11	±0.003	0.005	0.135	1100
0.12	±0.003	0.006	0.147	1300
0.14	±0.003	0.006	0.167	1300
0.15	±0.003	0.006	0.177	1300
0.16	±0.003	0.007	0.189	1300
0.17	±0.003	0.007	0.199	1300
0.18	±0.003	0.008	0.211	1600
0.20	±0.003	0.008	0.231	1600
0.22	±0.004	0.008	0.252	1600
0.23	±0.004	0.009	0.264	1600
0.25	±0.004	0.009	0.284	1600

3UEW 漆包线的尺度与耐压				
尺度				绝缘破坏电压 V(以上)
导体		最小漆膜厚度 mm	最大完成外径 mm	
规格 mm	容许差 mm			
0.05	±0.003	0.003	0.064	700
0.07	±0.003	0.003	0.085	700
0.08	±0.003	0.003	0.097	700
0.10	±0.003	0.003	0.118	700
0.11	±0.003	0.003	0.128	700
0.12	±0.003	0.004	0.139	850
0.14	±0.003	0.004	0.159	850
0.15	±0.003	0.004	0.169	850
0.16	±0.003	0.005	0.181	850
0.17	±0.003	0.005	0.191	850
0.18	±0.003	0.005	0.202	1000
0.20	±0.003	0.005	0.222	1000
0.22	±0.004	0.005	0.243	1000

0.23	±0.004	0.006	0.255	1000
0.25	±0.004	0.006	0.275	1000

### 三层绝缘线：

常用的制造商有：FURUKAWA、GREAT、YOUNG CHANG。优点是：三层绝缘保护，没有针孔现象。

在图纸有的只注明三层绝缘线，因为不同规格它的耐温等级与工作电压也不一样，所以在图纸上需注明规格，以下列出 FURUKAWA 的规格与特性：

FSX-E、SX-E.basic insuiation rated 120°C,wacking voltage 354Vdc or Vp.

FWX-E. supplementary insuiation rated 120°C, wacking voltage 354Vdc or Vp.

TEX-E、TEX-EA, reinforced insuiation rated 130°C, wacking voltage of up to 1.4kVp .

TEX-ELZ, reinforced insuiation rated 120°C, wacking voltage of up to 1.4kVp.

TEX-F reinforced insuiation rated 155°C, wacking voltage of up to 1.4kVp.

TEX-B reinforced insuiation rated 130°C, wacking voltage of up to 1.4kVp.

### (四) TAPE：

以帶基/基材的不同分類有：環氧膠帶(epoxy tape)、聚酸亞胺膠帶 (polyimide tape)、聚四氟乙烯膠帶(PTFE Tape)、乙烯樹脂膠帶(Vinyi Tapy)、聚酯薄膜(Polyeseter Taye)、強化纖維膠帶(Filament Tape)、合成物薄膜(Composite Tape)、玻璃布(Glass Cloth)、乙醋酸布(Acetate Cloth)、紙帶 (Paper)，我們常用的是聚酯薄膜(Polyeseter Taye)。這種膠帶適應於需要薄質、耐用和高介電/耐電壓強度材料時的絕緣用途。它必須比醋酸脂薄膜膠帶耐溫度。聚脂薄膜膠帶從形性高、有極佳的抗化學品、抗化劑和防潮能力，並可抵受切割及磨損。耐溫 130°C HI-POT：5KV，它有 0.025mm 和 0.05mm 厚度之分。

### (五) TUBE：

TUBE 種類繁多，用途廣泛，有 TEFLON(鐵弗龍)、PE 熱縮套管、PVC 熱縮套管等。最常用的是 TEFLON(鐵弗龍)，鐵弗龍為塑膠中耐溫最高(280°C~300°C)最耐強酸、強鹼、最抗粘、最滑溜耐磨之工程塑膠材料。

Teflon insulation sleeving 是變壓器進出線絕緣的最佳材料，其主要性質如下：

比重 2.1~2.3gr/cm	絕緣破壞強度 4.5kv/mm
抗拉強度 280~352kg/cm	誘電率 10 HZ <2.1
伸長率 200~400%	耐電弧性 >300sec
抗拉彈性系數 0.4*10kg/cm	吸水率 24Hrs <0.01%
壓縮強度 120kg/cm	太陽光線影響
硬度(rockwell) D50~55	弱酸影響
沖擊張度(V) 16.4gm/1000 回	弱鹼影響 耐性非常強
磨擦系數 0mg/1000 回	強酸影響
融 點 317~327°C	強鹼影響
熱變形溫度(4.6kg/cm) 260°C	有機溶劑}影響

#### (六) EPOXY:

在變壓器中，膠用於接合.固定。

分類: 常用的膠大約可分為環氧樹脂系(EPOXY RESIN)\矽銅系\壓氧系\氫壓克力脂\熱熔膠. 常用的有環氧樹脂系(EPOXY RESIN)。

環氧樹脂系(EPOXY RESIN)按其組成不同分為單劑型、雙劑型。

單劑型：製造廠商已將樹脂與硬化劑調好，其化學變化過程緩慢，通常需要冷藏，使用後加熱使其硬化。

雙劑型：樹脂與硬化劑分開，可於室溫下保存使用時將二劑依正確比例混合，必須攪拌均勻，否則烘烤不乾. 正確比率混合且經攪拌均勻之膠，通常要在室溫下即可硬化。

為防止磁芯鬆動，需在產品在磁芯結合處，磁芯與BN 結合處需點膠固定。

## 四. 高频变压器的制作工艺:

### (一) 繞線:

1. 选择合适的 BN(包括材质与尺寸等);
2. 将多余的 PIN 脚剪除, 避免绕完后剪脚时剪错脚或挂线时挂错脚;
3. 确定绕向. 在满足性能的前提下要考虑到这种绕向是否可以尽量避免绕组进线与出线的重叠. 以免造成线包过饱、耐压不良和电性不良的隐患。
4. 绕线方式大致有以下几种:

密繞: 緊密的線與線間沒有空隙. 整齊的繞線. 密繞又分为一层密绕、多层密绕与居中密绕;

一層密繞: 佈線只佔一層, 緊密的線與線間沒有空隙. 整齊的繞線 (如圖 1);

多層密繞: 在一個繞組一層無法繞完, 必須繞至第二層或二層以上;

居中密繞: 緊密的繞在繞線區的中间;

均繞: 在繞線範圍內以相等的間隔進行繞線(如圖 2);

并繞: 兩根以上的 WIRE 同時平行的繞同一組線, 各自平行的繞, 不可交叉. 有又密繞和均繞的繞法。

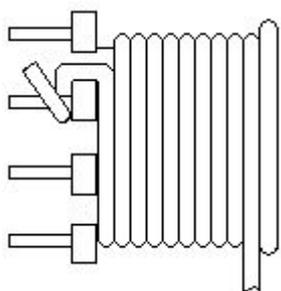


圖 1

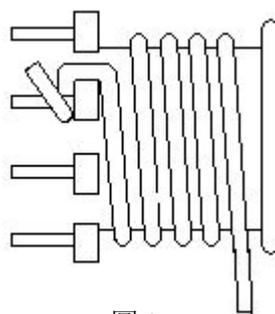


圖.2

### 注意事項:

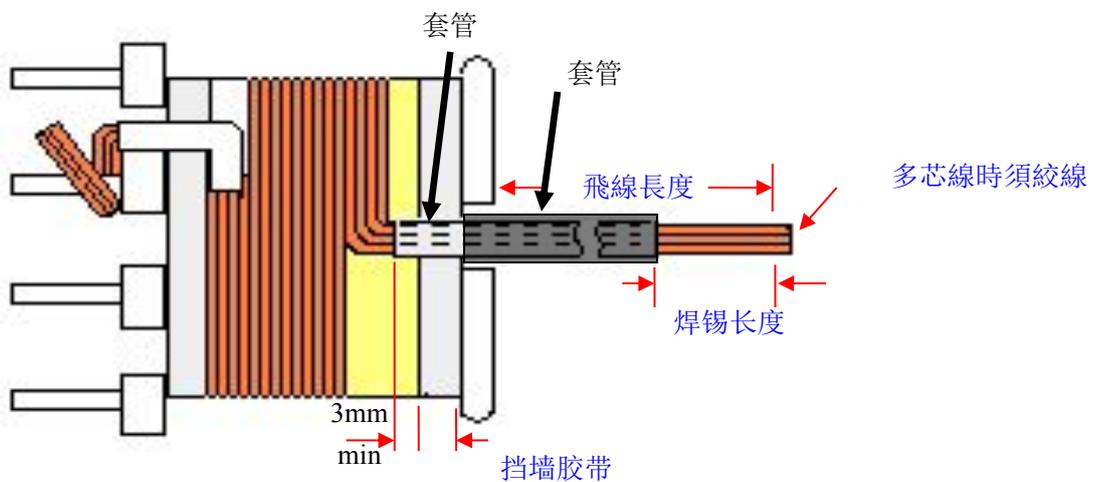
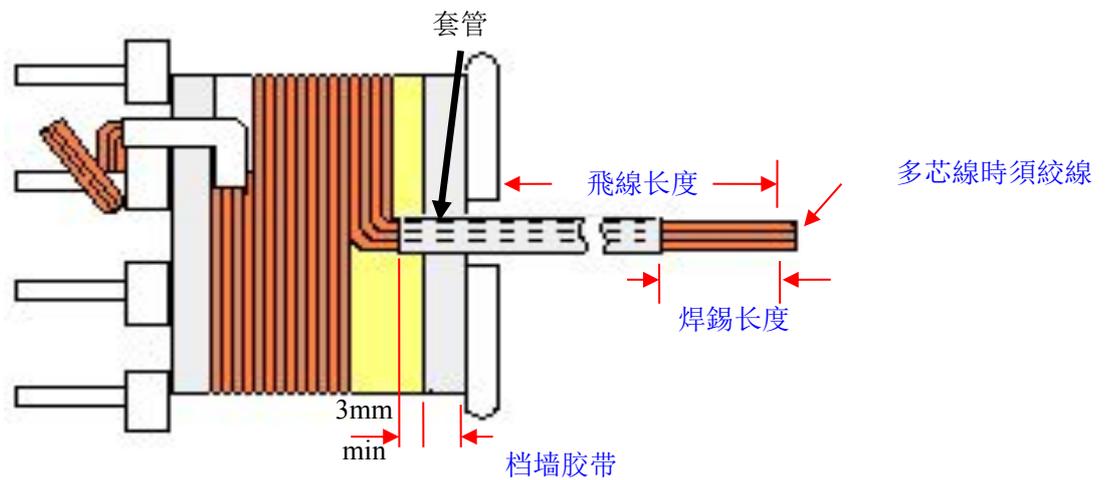
- 1 當起繞(START)和結束(FINISH)出入線在 BOBBIN 同一側時, 結束端迴線前須貼一塊橫越膠布作隔離;
- 2 出入線於使用 BOBBIN 之凹槽出線時, 原則上以一線一凹槽方式出線, 若同一 PIN 有多組可使用同一凹槽或相鄰的凹槽出線, 在焊錫及裝套管時要注意避免短路;
3. 繞線時需均勻整齊繞滿 BOBBIN 繞線區為原則, 除圖紙上有特別規定繞法時 (如: 居中

密繞)，則以圖面為準；

4 變壓器中須加醋酸布作為檔牆膠帶時，其檔牆膠帶必須緊靠模型兩邊。為避免線包過胖及影響漏感過高，故要求 2TS 以上之醋酸布重疊不可超過 5mm。繞線時銅線不可上檔牆，若有套管，套管必須伸入檔牆 3mm 以上；

5. 飛線引線長度按圖紙要求控制，如為多 P 并繞，須注明是否需絞線鍍錫。

如有套管須深入檔牆 3mm 以上（如下圖）：



(二). 包銅箔：

## 銅箔繞製工法

我們以銅箔的外形分有裸銅各背膠兩種：銅箔表面有覆蓋一層 TAPE 的為背膠，反之為裸銅；以在變壓器中的位置不同分為內銅和外銅。裸銅一般用於變壓器的外銅。銅箔在變壓器中一般起屏蔽作用。

### 1. 銅箔的加工。

(1). 銅箔一般加工方法：背膠——焊接引線——銅箔兩端平貼於絕緣膠帶中央——折回絕緣膠帶（膠帶須完全覆蓋住焊點并銅箔兩邊須留 1mm 以上）；

（如圖 3、圖 4）

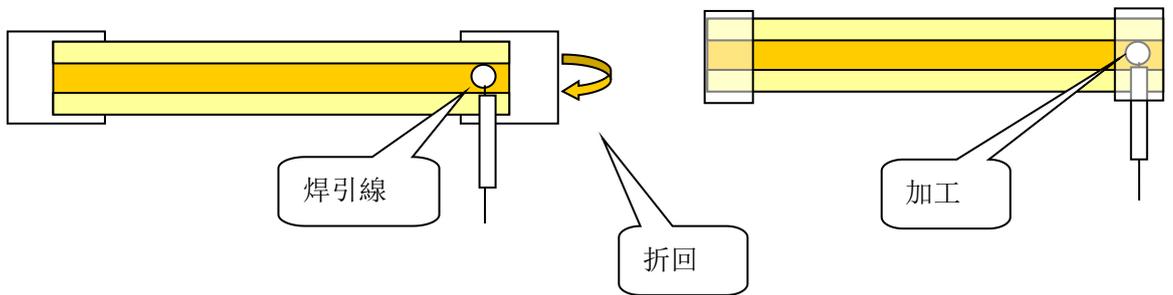


圖 3

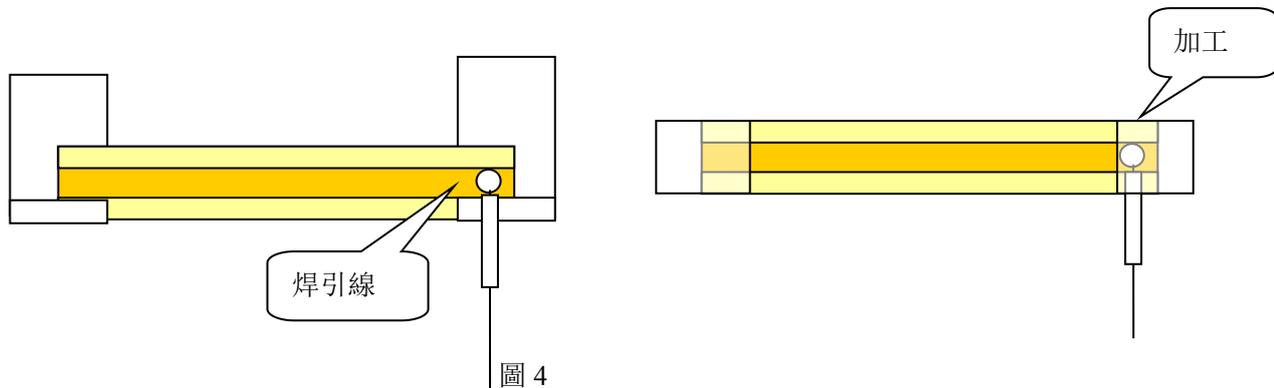


圖 4

(2). 外銅加工工法：（如圖 5）

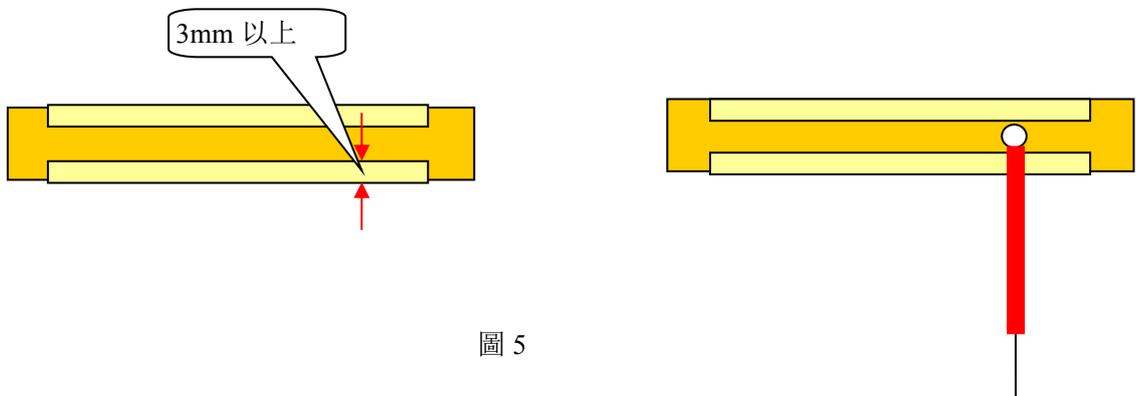


圖 5

## 2. 變壓器中使用銅箔的工法要求：

(1). 銅箔繞法除焊點處必須壓平外銅箔之起繞邊應避免壓在 BOBBIN 轉角處，須自 BOBBIN 的中央處起繞，以防止第二層銅箔與第一層間因擠壓刺破膠布而形成短路（如圖 6）：

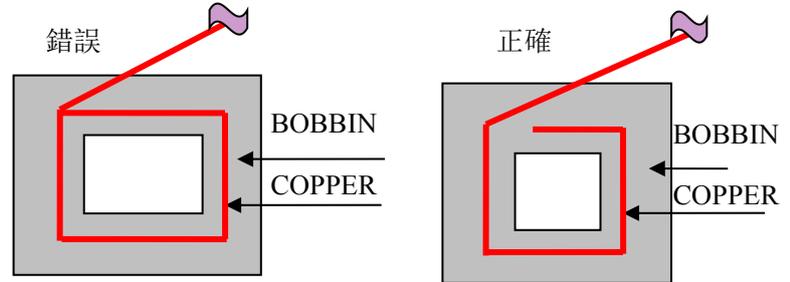


圖 6

(2). 內銅片於層間作 SHIELDING 繞組時，其寬度應盡可能涵蓋該層之繞線區域面積；

(3). 銅箔須包正包平，不可偏向一邊，不可上擋牆（如圖 7）：

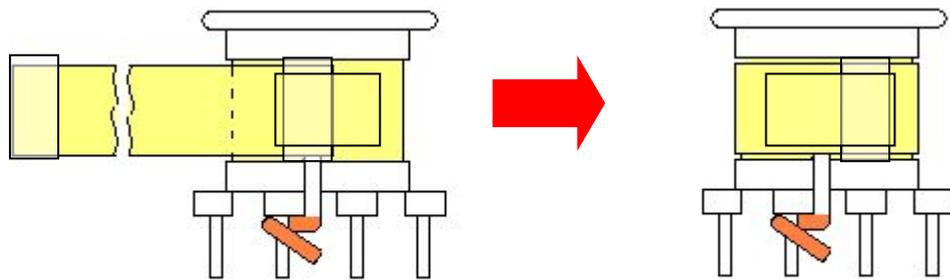


圖 7

(4). 焊外銅（如圖 8）：

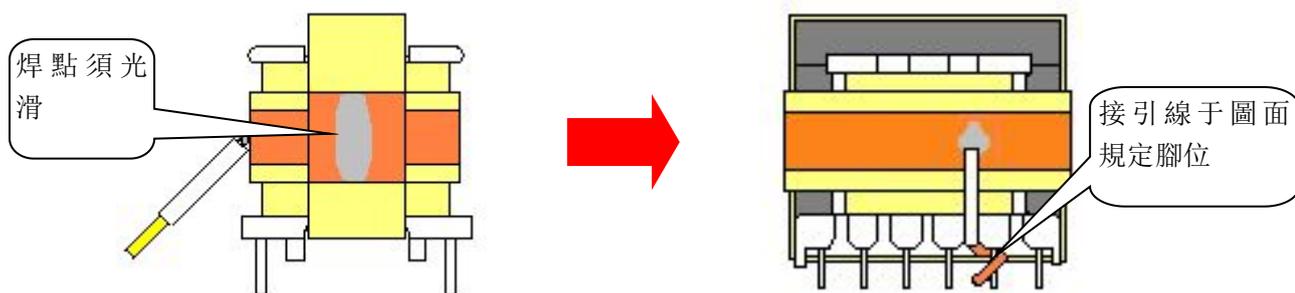


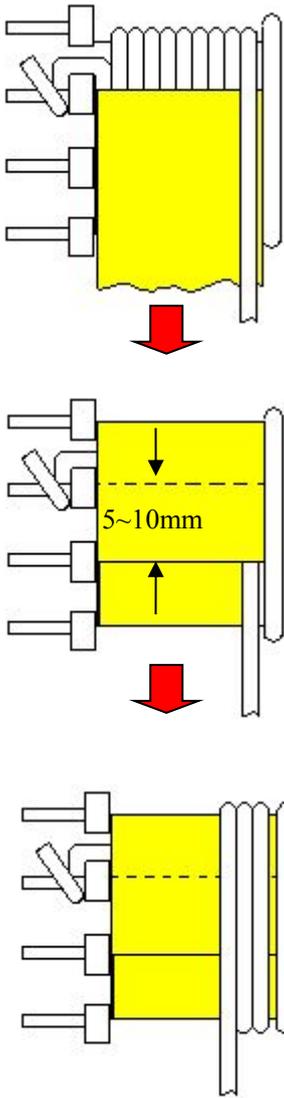
圖 8

(5). 銅箔焊點須小而精，銅箔須拉緊包平，不可偏向一側。點錫適量，焊點須光滑，不可帶刺。點錫時間不可太長，以免燒壞膠帶。銅箔背膠兩邊需均勻，不可寬另一边窄。

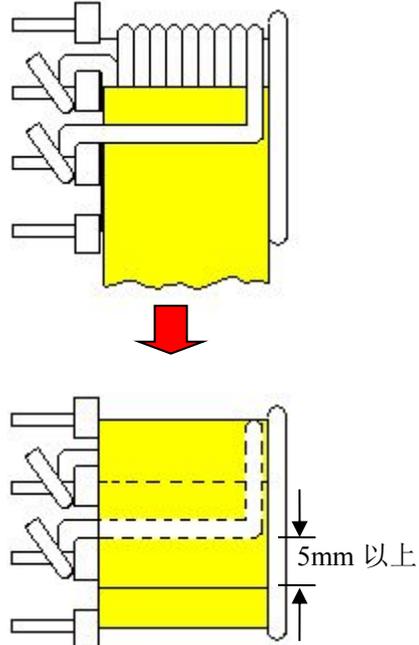
(三). 包膠帶:

包膠帶的方式一般有以下幾種 (如圖 9):

.同組不同層的絕緣方法.



不同層的絕緣方法.



最外層的絕緣方法.

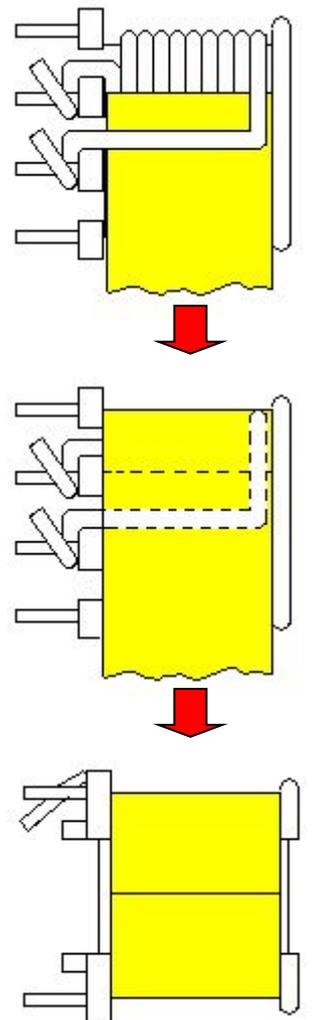
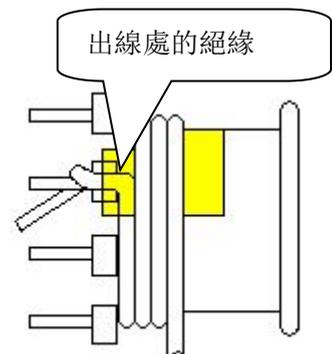
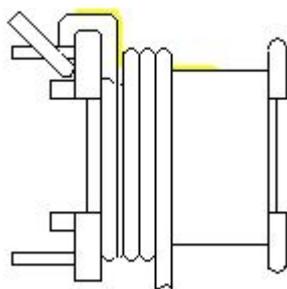


圖 9

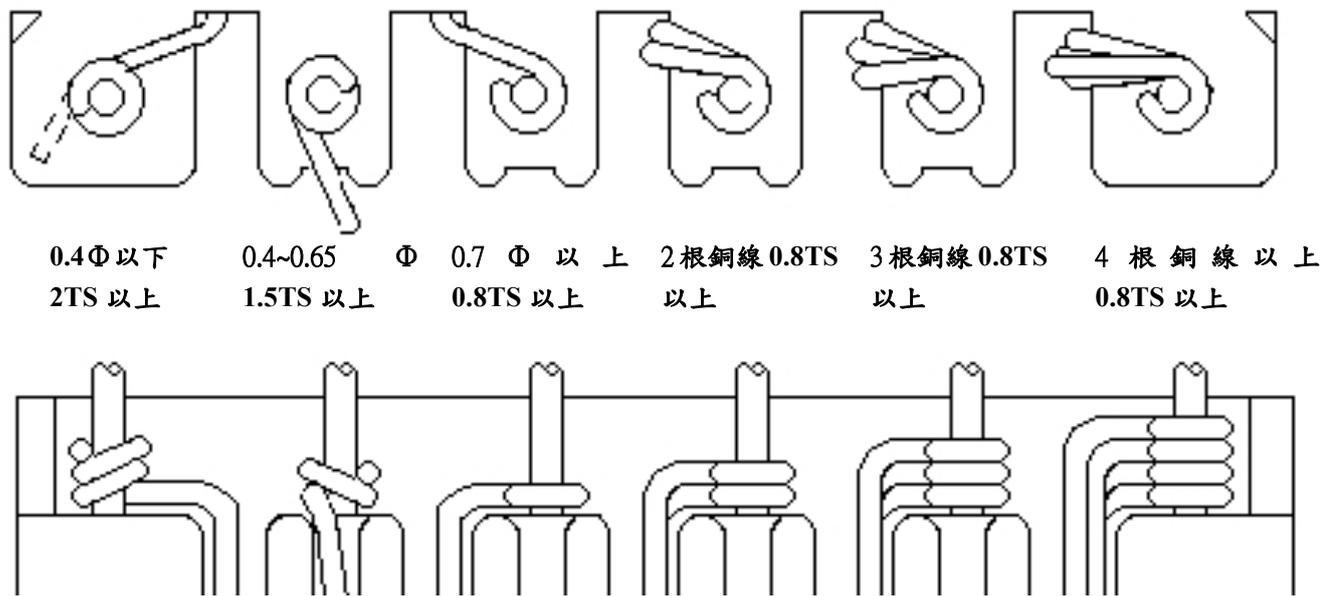
壓線膠帶的貼法



注意事項:膠帶須拉緊包平,不可翻起刺破,不可露銅線.最外層膠帶不宜包得太緊,以免影響產品美觀。

(四). 壓腳:

1. 將銅線理直理順並纏在相應的腳上;
2. 壓腳:用斜口鉗將銅線纏緊并壓至腳底緊靠檔牆;
3. 剪除多餘線頭;
4. 纏線圈數依線徑根數而定(如下圖):

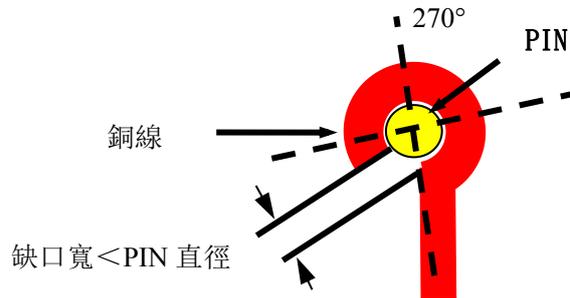


5. 銅線過多的可絞線(如圖 10):



圖 10

6. 0.8T 的纏線標準如下圖所示：



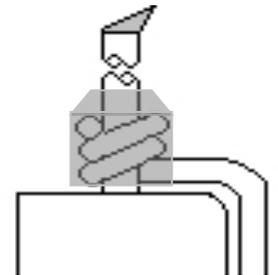
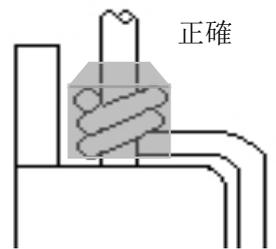
注意事項：銅線須緊貼腳根，預計焊錫後高度不會超過 BN 底座；不可留線頭，不可壓傷腳，不可壓斷銅線，不能損壞 BN.

#### (五). 焊錫

1. 焊錫：立式模型鍍錫時將腳垂直插入錫槽(臥式模型將腳傾斜插入焊錫槽)，鍍錫深度以錫面齊銅 PIN 底部為止. 錫爐度須保持在  $450^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$  之間，焊錫時間因線徑不同而異。

2. 焊錫后检查:

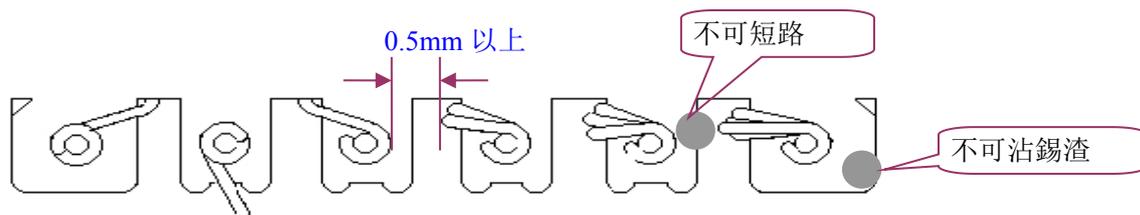
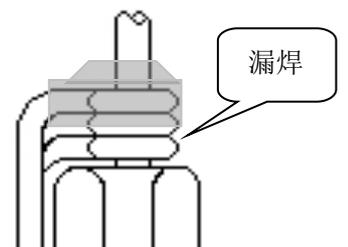
鍍錫須均勻光滑，不可有冷焊，包焊，漏焊，連焊，氧焊或錫團，錫尖長不超過 1.5mm。



注意事項：1. 塑膠模型不耐高溫，焊錫時間也不宜過長. 否則易產生包焊或 PIN 移位. 不可燒壞膠帶；

2. 三層絕緣線須先脫皮後鍍錫；

3. 焊點之間最小間隙須在 0.5mm 以上.(如下圖)：

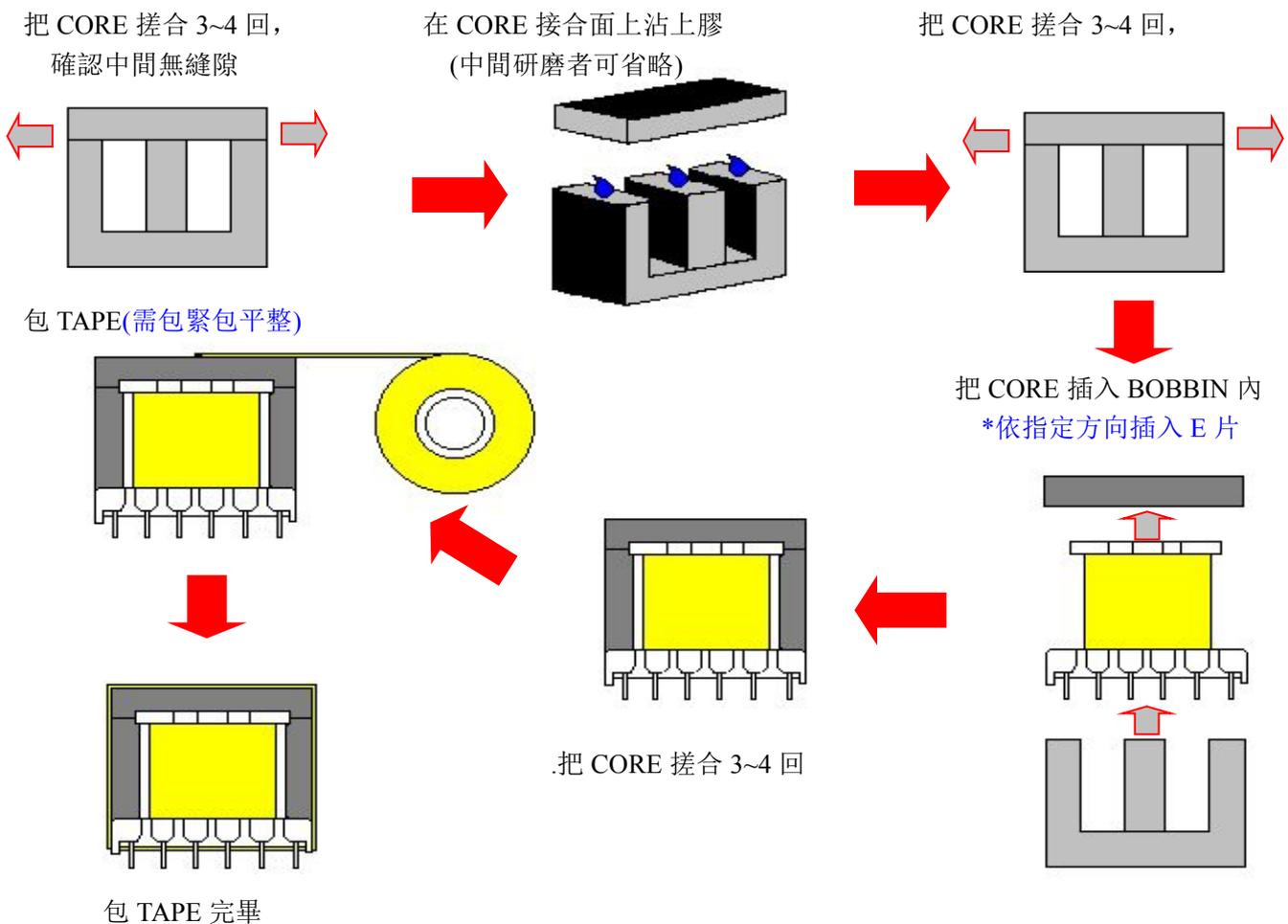


(六). 組裝 CORE :

1. CORE 確認：不可破損或變形；
2. 依要求是否需要加工 GAP 之研磨；
3. 組裝：如無特殊規定，臥式模型已研磨的鐵芯裝初級端，立式模型已研磨的 PIN 端；
4. 鐵芯固定:方式有鐵夾或三層膠布固定，且可在鐵芯接合處點 EPOXY 膠固定；

組裝 CORE 之注意事項：

1. 組裝 CORE 時，不同材質的 CORE 不可組裝在同一產品上；
2. 鐵芯與鐵芯接觸面都需保持清潔；
3. 包鐵芯之膠帶寬度規定，如无特別要求外以鐵芯寬減膠帶寬空隙約 0.3mm~0.7mm 為最佳，顏色与线包膠帶一致

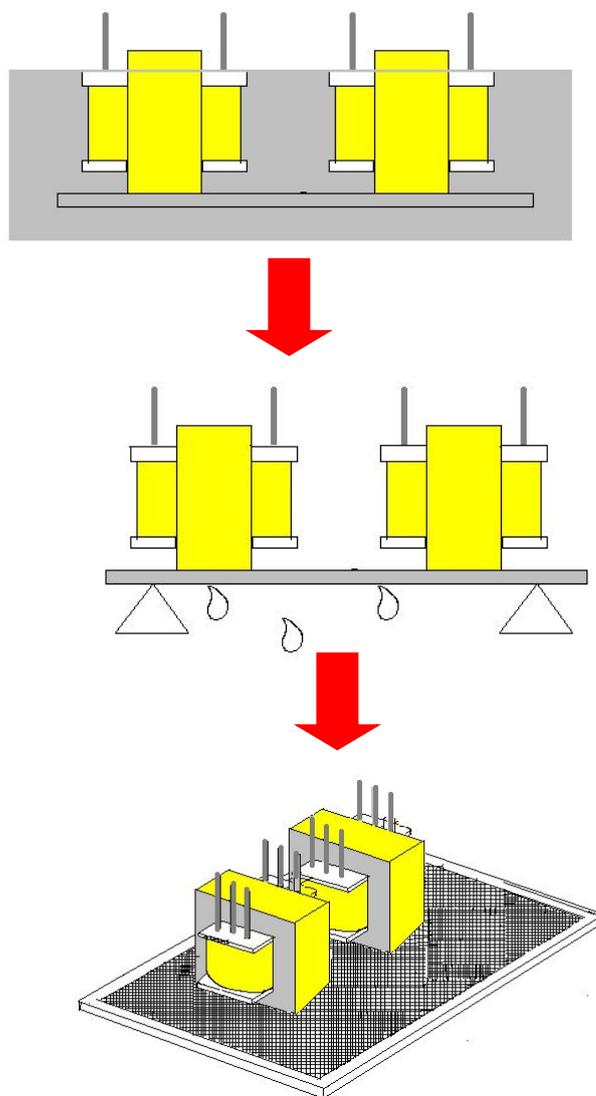


(七). 含浸：

- 1 將產品整齊擺放於鐵盤內；
- 2 調好凡立水濃度；
- 3 將擺好產品的鐵盤放於含浸槽內；
- 4 啟動真空含浸機---抽真空---放入凡立水---含浸---放氣---放下凡立水---待產品稍乾後取出放置濾乾車上陰乾；
5. 濾乾 10 分鐘以上，視產品無凡立水滴下；
6. 依要求置規定的環境下烘烤一定時間後取出(一般是 100℃---110℃)；
7. 將產品取出烤箱；
8. 用風扇送風加速冷卻；

注意事項：

- 1 · 凡立水與稀釋劑調配比例應合適.
- 2 · 含浸時凡立水不可上銅腳.



(八). 貼標籤:

1. 標籤確認:檢查標籤內容是否正確,有無漏字錯字,字跡是否清晰.檢查標籤是否過期.噴字時必須確認所設定的標籤完全正確.
2. 标签内容确认无误后,贴在規定的位置。

注意事項:

1. 標籤須貼正貼平,貼完後須用手按一下,使之與產品完全接觸;
2. 標籤不可貼錯、貼反、貼歪或漏貼。

(九). 外觀:

1. 變壓器本體嚴格的保持潔淨,含浸後變壓器鐵芯四周不得殘留凡立水,无銅渣錫渣錫珠.
2. BN 是否有裂縫,是否斷開,是否剪錯腳,不可有鬆動及斷裂現象;
3. 鐵芯是否有破損,鐵芯不可有鬆動現象;
4. 膠帶是否刺破,包膠帶處不可有露銅線現象;
5. 套管是否有破損,是否過短,是否有套到位;
6. PIN 須整腳,不可有彎曲變形或露銅氧化;
7. 檢查焊錫是否完整,不可有包焊,漏焊,連焊;
8. 檢查標籤是否正確,是否有貼錯、貼反或漏貼;
9. 檢查打點是否清晰,位置是否正確,有無打錯、打反或漏打。

(十). 電氣測試:

1. 電感測試、漏感测试、Q 值测试、直流电阻测试;
2. 耐压测试、绝缘电阻测试;
3. 圈數測試:測試產品的圈數,相位。

**【相关会议】第 6 届自动化生产暨高性能磁性材料应用技术研讨会**

**【时间】** 2016 年 5 月 27 日

**【地点】** 广东 东莞 嘉辉会酒店

**【会议主题】** 1、小批量订单快速转换，如何提高员工效率，自动化生产设备的利用；

2、传统磁性器件大规模自动化生产解决方案；

3、电子变压器、电感自动化生产各工段自动化新进展和趋势；

4、适用于自动化生产的磁性材料公差技术；

5、行业最优秀的全自动化生产线和技术介绍；

6、新能源汽车产业中有关磁性元件的发展与要求；

7、高可靠高效率测试技术、生产测试一体化进程；

8、非晶、纳米晶压制磁芯的性能和应用；

9、镍锌复合材料最新应用和趋势；

10、变压器、电感产业未来发展前景和应用趋势介绍。



**【手机报名】** <http://www.big-bit.com/Meeting/b-87.html>

**【主办方电话】** 13076748042 贺小姐 在线 QQ:2334154401

微信扫一扫报名

-----END-----