

注塑成型法制备铁氧体磁芯

朱晏军，聂 敏

深圳顺络电子股份有限公司 广东 518110

摘要：目前磁芯的生产工艺技术主要是干压成型法。我们将注塑成型工艺平台引入研发磁芯，实现技术创新。将两种工艺所生产的同类磁芯进行磁芯电性能、磁芯热震性能、磁芯密度、磁芯力学性能、磁芯机械冲击、磁芯高低温冲击、磁芯高温负载性能对比。注塑磁芯的电性能较好，注塑磁芯热震性能很好，在450℃不破裂，而干压磁芯430℃出现开裂；注塑磁芯密度均匀，密度在5.310g/cm³和5.330g/cm³之间，而干压磁芯密度分散较大，密度在5.1450g/cm³和5.258g/cm³之间；注塑磁芯的力学性能较好；注塑磁芯机械冲击其电感变化率较小，在-0.930%和0.920%之间，而干压磁芯电感变化率较大，在-1.520%和2.230%之间；注塑磁芯高低温冲击其电感变化率较小，在0%和2.340%之间，而干压磁芯电感变化率较大，在-3.660%和3.970%之间；注塑磁芯高温负载其电感变化率较小，在0.450%和5.140%之间，而干压磁芯电感变化率较大，在-4.860%和4.830%之间；实验数据表明注塑工艺制备磁芯的性能均要优于干压磁芯。

关键词：干压成型，注塑成型，铁氧体磁芯，性能

The method of injection molding for ferrite core production

ZHU Yanjun, NIE Min

Shenzhen Sunlord Electronics Co, Ltd, Shenzhen 518110, China

Abstract: The technique of ferrite core production is mainly dry pressing method currently. We are making use of injection molding method to develop ferrite core, carrying out technique innovation. Comparing the properties of ferrite core produced by different methods, including core electrical properties, thermal shock resistance, core density, mechanical shock test, high and low temperature shock test, and high temperature load test. electrical properties of injection molding core are better than dry pressing core; injection molding core thermal shock resistance performance is very good, no cracking under the temperature of 450℃, but dry pressing core cracking on 430℃; injection molding core density uniformity, density is between 5.310g/cm³ and 5.330g/cm³, but dry pressing density dispersion is large, density is between 5.1450g/cm³ and 5.258g/cm³; mechanical properties of injection molding core are better than dry pressing core; injection molding core mechanical shocking inductance change rate is low, between -0.930% and 0.920%, while dry pressing core inductance change rate is large, between -1.520% and 2.230%; injection molding core of high and low temperature shocking inductance change rate is low, between 0% and 2.340%, while dry pressing core inductance change rate is large, between -3.660% and 3.970%; injection molding core high temperature load inductance change rate is low, between 0.450% and 5.140%, while dry pressing core inductance change rate is large, between -4.860% and 4.830%; experimental data show that the properties of injection molding are better than these of dry pressing.

Key words: dry pressing, injection molding, ferrite core, properties

1 引言

目前磁芯的生产工艺技术主要是干压成型法。干压成型的原理是通过加入一定量的表面活性剂，改变粉体表面性质，包括改变颗粒表面吸附性能，改变粉体颗粒形状，从而减少超细粉的团聚效应，使之均匀分布；加入润滑剂减少颗粒之间及颗粒与模具表面的摩擦；加入粘结剂增强粉料的粘结强度。将粉体进行上述预处理后装入模具，用压机以一定压力和压制方式使粉料成为致密坯体，这是一种比较成熟且成本较低的方法。优点是生产效率较高、自动化程度较高、废品率低、生产周期短、适合大批量工业化生产。缺点是成型产品的形状有较大限制，只能生产方柱型磁芯，且模具造价较高、容易破损、使用寿命较短、坯体强度低、坯体内部致密性不一致、组织结构的均匀性相对较差等。

注塑成型的原理^[1]是将受热融化的材料由高压射入模腔，经冷却固化后，得到成形产品的方法。该方法适用于形状复杂部件的批量生产，是重要的加工方法之一。优点是生产效率高，可以一模十几个甚至几十个，自动化程度较高、生产的制品密度大、强度高，不仅可以生产方柱型磁芯，而且可以一次性生产圆柱形、椭圆形、跑道型磁芯，还能够一次性形成复杂的磁芯，适合大批量工业化生产。缺点是整个生产周期比干压成型要长，模具结构复杂等。

作者经过大量的试验研究发现，使用同一种粉料，分别采用注塑工艺和传统的干压工艺生产同类磁芯，并对其进行性能对比，包括磁芯的电性能、磁芯热震性能、磁芯密度、磁芯的力学性能、磁芯机械冲击、磁芯高低温冲击、磁芯高温负载等，实验表明，注塑工艺生产的磁芯各项性能均要优于干压磁芯，为生产磁芯提供了一种全新的方法和工艺。

2 实验部分

2.1 注塑成型法制备磁芯^{[2] [3]}

制备喂料

将60%石蜡加热到180℃，待石蜡全部熔解后，加入15%聚乙烯和15%聚丙烯，并用搅拌棒不断搅拌，全部溶解后，再加入2%油酸、2%邻苯二甲酸二辛酯、6%邻苯二甲酸二丁酯，得到粘结剂。将重量百分比为60%-70%氧化铁、10%-20%氧化镍、15%-25%氧化锌和2%-10%

氧化铜通过滚筒球磨机使其均匀混合，滚筒球磨机的转速为45r/min，球磨时间为24h，然后在850℃温度下进行煅烧，煅烧时间为2h，待煅烧完后用球磨机将其球磨至粒度为0.5-2.0μm的粉料。先将粉料用烘箱进行烘干，烘干温度为120℃，烘干时间为2h，取出冷却至室温，按照重量百分比为90%的粉料与10%粘结剂在密炼机中密炼，设定温度为180℃，设置搅拌器的频率为50Hz，每密炼60分钟后，翻料1次，共翻料3次，得到块状泥料。待泥料冷却后用粉碎机将块状泥料粉碎至平均粒径为8mm的颗粒，即为注塑所需要的喂料。

制备铁氧体磁芯

将喂料在注塑机料筒里加热熔化，在125Bar的压力下将熔融的喂料注入模腔中，填充模腔，模腔填充后，打开模具，取出已固化的坯体，即为所述铁氧体磁芯坯体。将铁氧体磁芯坯体，依次经过溶剂脱脂、热脱脂和烧结得到所述铁氧体磁芯。溶剂脱脂依次包括泡油、晾干和烘干，泡油以煤油作为溶剂，溶解温度为50℃，时间为10小时，以除去部分粘结剂。热脱脂在以0.5℃/min的升温速度升温至450℃条件下进行，以除去更多的粘结剂。烧结包括：升温阶段，缓缓升温，以升温速率0.5℃/min使温度从室温缓缓升至450℃，待粘结剂排出后，以升温速率1.5℃/min，继续升温至900℃；坯件逐渐收缩阶段，以升温速率1℃/min继续升温至1040℃；保温阶段，在1040℃下保温1h；降温阶段，磁芯烧好后，进行降温，冷却速率为1℃/min。

2.2 干压成型法制备磁芯

制备粉料

将重量百分比为60%-70%氧化铁、10%-20%氧化镍、15%-25%氧化锌和2%-10%氧化铜通过滚筒球磨机使其均匀混合，所述滚筒球磨机的转速为45r/min，球磨时间为24h，然后在850℃温度下进行煅烧，煅烧时间为2h，待煅烧完后用球磨机将其球磨至粒度为0.5-2.0μm的粉料，然后进行喷雾造粒。

制备铁氧体磁芯

将喷雾造粒后的粉料放入干压机中，填充模腔，模腔填充后，进行压制成型，即为铁氧体磁芯坯体。将铁氧体磁芯坯体，经过排胶和烧结得到所述铁氧体磁芯，整个过程分为以下几个阶段。升温阶段，缓缓升温，以升温速率

1.0 /min 使温度从室温缓缓升至 450 ,待粘结剂排出后 ,以升温速率 1.5 /min ,继续升温至 900 ;坯件逐渐收缩阶段 ,以升温速率 1 /min 继续升温至 1040 ;保温阶段 ,在所述 1040 下保温 1h ;降温阶段 ,磁芯烧好后 ,进行降温 ,冷却速率为 1 /min 。

3 结果与分析

使用同一种磁导率为 400 的粉料 ,分别采用注塑工艺和传统的干压工艺生产同类 6045 磁芯 (尺寸为长 6.00mm ,宽 6.00mm ,中柱 2.82mm ,高度 4.10mm) ,并对其进行各种性能对比。

3.1 磁芯的电学性能对比

注塑工艺和传统的干压工艺生产同类 6045 磁芯 ,采用同样的条件进行绕线 ,铜线线径为 0.30mm ,圈数为 18 圈 ,利用 LCR METER ZM2355 仪器测试其电性能 ,测试条件为 100KHz/1V ,比较两者的电感量以及饱和电流特性 ,电感量测试结果如表 1 和表 2 所示 ,饱和电流特性如图 1 所示。

从上面的图表可以看出 ,注塑 6045 磁芯比同类的干压磁芯电感量略高 ,注塑磁芯的饱和电流特性也要好些。

3.2 磁芯热震性能对比

用浸锡炉分别对注塑 6045 磁芯和干压 6045 磁芯进行浸锡 ,测试其热震性能 ,实验数据表明注塑磁芯耐热较好 ,见表 3 所示。

表1 注塑6045磁芯电感量与电流测试表

电流 I(A)	电感量 L(μH)				电感量变化率 L/L(%)			
	注塑6045磁芯				注塑6045磁芯			
	1#	2#	3#	平均值	1#	2#	3#	平均值
0.0	10.40	10.42	10.45	10.42	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.5	10.40	10.41	10.43	10.41	0.0%	-0.1%	-0.2%	-0.1%
1.0	10.35	10.38	10.40	10.38	-0.5%	-0.4%	-0.5%	-0.4%
1.5	10.22	10.25	10.28	10.25	-1.7%	-1.6%	-1.6%	-1.7%
2.0	10.08	10.10	10.11	10.10	-3.1%	-3.1%	-3.3%	-3.1%
2.5	10.00	10.01	10.01	10.01	-3.8%	-3.9%	-4.2%	-4.0%
3.0	9.96	9.97	9.96	9.96	-4.2%	-4.3%	-4.7%	-4.4%
3.5	9.57	9.53	9.55	9.55	-8.0%	-8.5%	-8.6%	-8.4%
4.0	8.89	8.87	8.86	8.87	-14.5%	-14.9%	-15.2%	-14.9%
4.5	6.98	7.01	6.96	6.98	-32.9%	-32.7%	-33.4%	-33.0%
5.0	4.48	4.50	4.45	4.48	-56.9%	-56.8%	-57.4%	-57.1%

表2 干压6045磁芯电感量与电流测试表

电流 I(A)	电感量 L(μH)				电感量变化率 L/L(%)			
	干压6045磁芯				干压6045磁芯			
	1#	2#	3#	平均值	1#	2#	3#	平均值
0.0	10.21	10.20	10.24	10.22	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
0.5	10.20	10.20	10.22	10.21	-0.1%	0.0%	-0.2%	-0.1%
1.0	10.15	10.15	10.16	10.15	-0.6%	-0.5%	-0.8%	-0.6%
1.5	10.01	10.01	10.01	10.01	-2.0%	-1.9%	-2.2%	-2.0%
2.0	9.87	9.87	9.87	9.87	-3.3%	-3.2%	-3.6%	-3.4%
2.5	9.71	9.69	9.68	9.69	-4.9%	-5.0%	-5.5%	-5.1%
3.0	9.60	9.59	9.60	9.60	-6.0%	-6.0%	-6.3%	-6.1%
3.5	9.32	9.35	9.30	9.32	-8.7%	-8.3%	-9.2%	-8.7%
4.0	8.59	8.65	8.55	8.60	-15.9%	-15.2%	-16.5%	-15.9%
4.5	6.55	6.57	6.53	6.55	-35.8%	-35.6%	-36.2%	-35.9%
5.0	4.13	4.28	4.12	4.18	-59.5%	-58.0%	-59.8%	-59.1%

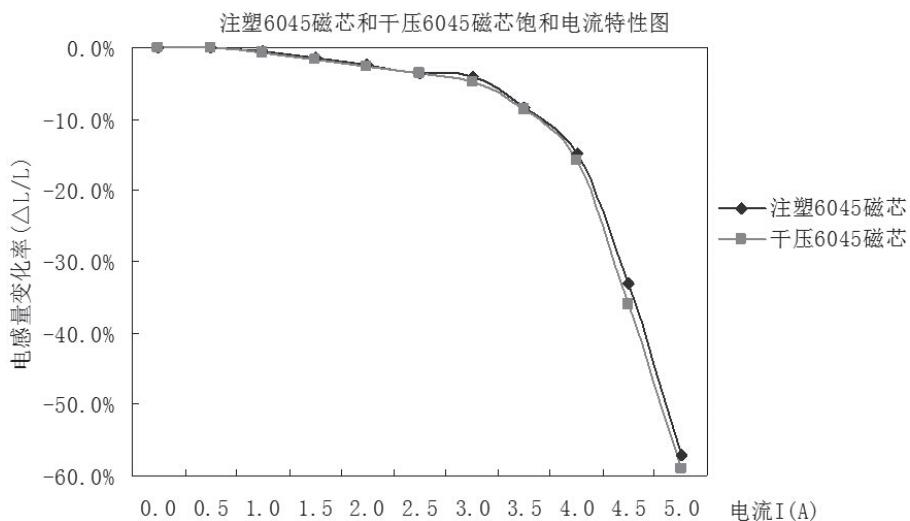


图1 注塑6045磁芯和干压6045磁芯饱和电流特性图

表3 注塑磁芯和干压热震性能对比

项目	浸锡温度 ()	浸锡时间 (s)	检查倍率	检查数量 (个)	检查结果	判定
注塑6045磁芯	400	5	30X	30	无裂片	合格
	410	5	30X	30	无裂片	合格
	420	5	30X	30	无裂片	合格
	430	5	30X	30	无裂片	合格
	440	5	30X	30	无裂片	合格
	450	5	30X	30	无裂片	合格
干压6045磁芯	400	5	30X	30	无裂片	合格
	410	5	30X	30	无裂片	合格
	420	5	30X	30	无裂片	合格
	430	5	30X	30	裂1片	不合格
	430	5	30X	30	裂1片	不合格

3.3 磁芯密度对比

用排水法测试注塑磁芯和干压磁芯密度，实验数据表明注塑磁芯密度波动较小，密度较均一，且密度较大，注塑磁芯的密度在 $5.310\text{g}/\text{cm}^3$ - $5.330\text{g}/\text{cm}^3$ 之间，而干压磁芯的密度波动较大，且密度相对较小，干压磁芯的密度在 $5.145\text{g}/\text{cm}^3$ - $5.258\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。磁芯的密度大小对磁芯热震性能有一定的影响，密度较大，说明磁芯比较密实，磁芯热震性能较好。

3.4 磁芯的力学性能对比

按照图2所示，利用推拉力计测试注塑6045磁芯和干压6045磁芯的力学性能，注塑6045磁芯的摆折力学性能为 40.5N - 45.5N ，干压6045磁芯的摆折力学性能为 34.5N - 40.0N ，注塑6045磁芯的力学性能明显要好于干压

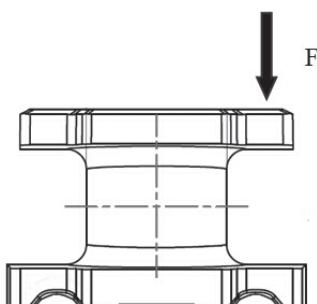


图2 磁芯力学性能测试示意图

6045 磁芯。

3.5 磁芯机械冲击试验对比

注塑6045磁芯和干压6045磁芯各取48Pcs进行试验，实验条件为将产品焊接在PCB上过两次回流焊预处理；振

动频率为 10-55-10Hz , 高度为 1.5mm , 周期为 1min , 在空间相互垂直的三个方向 (X,Y,Z) 各振动 2 小时 (共 6 小时) ; 机械冲击为半正弦波 , 最大加速度为 100G , 脉冲宽度为 6ms , 6 个方向 (+X、-X、+Y、-Y、+Z、-Z) , 每方向冲击 3 次 , 合计 18 次) 。按照上面的实验条件实验 , 实验数据表明 , 注塑磁芯实验前后电感量 L 变化率较小 , 在 -0.930% - 0.920% 之间波动 , 说明注塑磁芯产品一致性较好 , 而干压磁芯实验前后电感量 L 变化率较大 , 在 -1.520% - 2.230% 之间波动。

3.6 磁芯高低温冲击试验对比

注塑 6045 磁芯和干压 6045 磁芯各取 48Pcs 进行试验 , 实验条件为将产品焊接在 PCB 上过两次回流焊预处理 ; 试验温度和时间为 -40±2 /30min 和 +85±2 /30min , 温区转换时间为 20s ,100 次循环。按照上面的实验条件实验 , 实验数据表明 , 注塑磁芯实验前后电感量 L 变化率较小 , 在 0% -2.340% 之间波动 , 说明注塑磁芯产品一致性较好 , 而干压磁芯实验前后电感量 L 变化率较大 , 在 -3.660% -3.970% 之间波动。

3.7 磁芯高温负载试验对比

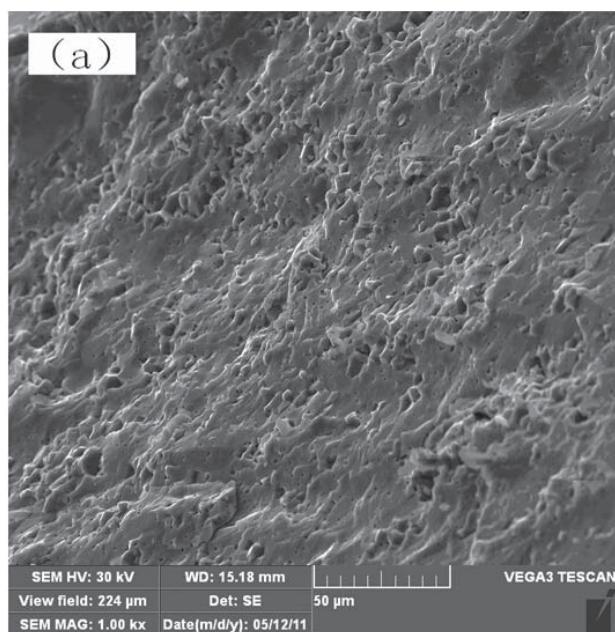
注塑 6045 磁芯和干压 6045 磁芯各取 48Pcs 进行试验 , 实验条件为将产品焊接在 PCB 上过两次回流焊预处理 ; 高

温负载温度为 85 ± 2 , 负载额定电流为 6.75A , 时间为 1000h。按照上面的实验条件实验 , 实验数据表明 , 注塑磁芯实验前后电感量 L 变化率较小 , 在 0.450% -5.140% 之间波动 , 说明注塑磁芯产品一致性较好 , 而干压磁芯实验前后电感量 L 变化率较大 , 在 -4.860% -4.830% 之间波动。

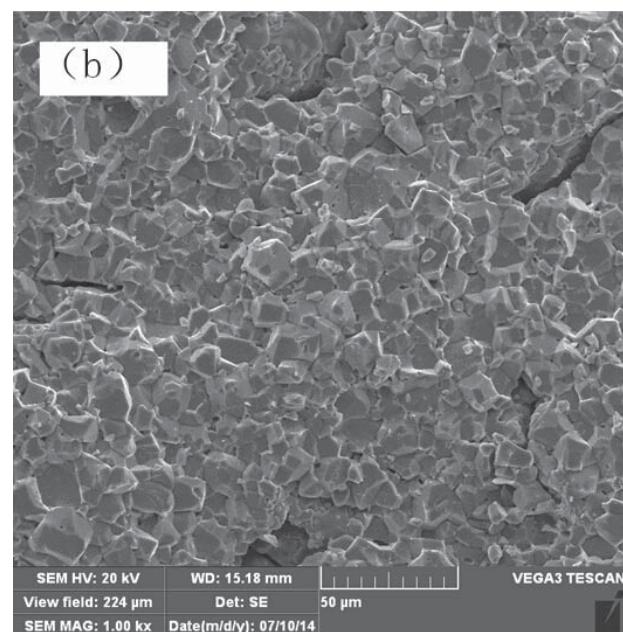
4 分析与讨论

干压成型法是以一定压力和压制方式使粉料成为致密坯体。干压成型坯体性能的影响因素 : 粉体的性质 , 包括粒度、粒度分布、形状、含水率等。添加剂特性及使用效果。好的添加剂可以提高粉体的流动性、填充密度和分布的均匀程度 , 从而提高坯体的成型性能。压制过程中的压力、加压方式和加压速度 , 一般地说 , 压力越大坯体密度越大 , 双向加压性能优于单向加压 , 同时加压速度、保压时间、卸压速度等都对坯体性能也有较大影响。干压成型对粉料的要求比较严格 , 粉料的各成分分布要均匀 , 体积密度要高。流动性要好 , 成型压制时颗粒间的摩擦要小 , 粉料能顺利地填满模型的各个角落。具有一定的团粒大小 , 并含有最少量的细颗粒部分 , 使成型无较多的气孔。在压力下易于粉碎 , 这样可成型得到较致密的坯体。水分要均匀 , 否则易使成型与干燥困难。

注塑成型法是将受热融化的材料由高压射入模腔 , 经



(a) 注塑磁芯晶粒结构 (x 1k)



(b) 干压磁芯晶粒结构 (x 1k)

图3 注塑磁芯和干压磁芯断面微观结构

冷却固化后，得到成形产品的方法。它对粉料的要求并不严格，对加压方式也要求不高。由于材料是在熔融状态快速充满模腔，坯体非常致密，压力梯度影响很小，因而磁芯密度波动较小，密度较均一，且密度较大。从图3(a)微观结构上看，由于坯体非常致密，在固相烧结时有利于更多晶粒的形成，晶粒相对非常细小且致密，因而注塑磁芯热震性能较好，力学性能好，电感量略高，饱和电流特性也要好一些，注塑磁芯可靠性试验（机械冲击、高低温冲击、高温负载等）也相对较好，而从图3(b)微观结构上看，干压磁芯内部有微裂纹，因而干压磁芯热震性能较差，干压磁芯可靠性试验（机械冲击、高低温冲击、高温负载等）也相对较差。

5 结论

通过前面对注塑工艺和磁芯产品的论证，可以得出以下结论：

(1) 使用同一种粉料，分别采用注塑工艺和传统的干压工艺生产同类磁芯，并对其进行性能（包括磁芯电性能、

磁芯热震性能、磁芯密度、磁芯的力学性能、磁芯机械冲击、磁芯高低温冲击、磁芯高温负载等）对比，注塑工艺生产磁芯的上述性能均要优于干压磁芯，为生产磁芯提供了一种全新的方法和工艺。

(2) 需要特别说明的是，注塑工艺生产磁芯虽然周期长、模具结构复杂，但是注塑成型可以一次性生产方柱型磁芯，也可以一次性生产圆柱型、椭圆形、跑道型、结构复杂的磁芯，而不需要像干压工艺那样，借助切削设备和工艺才能实现。从目前实际研发的技术层面和模具角度考虑，注塑成型特别适用于生产形状复杂、高附加值的磁芯。

参考文献

- [1] 张驰, 徐春, 金属粉末注射成形技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] 朱晏军, 周小军, 高海明, 等. 一种铁氧体磁芯注射成型用的粒料及其制备方法 [P]. 中国专利: 102674822B, 2013-08-21.
- [3] 朱晏军, 周小军, 高海明, 等. 铁氧体磁芯坯体的制造方法以及铁氧体磁芯的制造方法 [P]. 中国专利: 102642240B, 2013-12-25.

上接128页

就不可能有智能技术与产品。例如，当前与我们生活十分密切的汽车使用便利性和安全性上考虑，一般汽车使用的传感器已达30多种、200多颗，是十年前的4~5倍，而随时在用的手机，其中的传感器也比十年前增加了5~6倍。

由此最常见的例子可见，在互联网+、物联网以及各种新业态的发展完善过程中，传感器及其相关产业必将有其飞跃式的发展。

（参考文献略）