

电磁电饭锅内胆材料技术的发展现状

黄永俊, 蓝海凤, 李少杰, 张 伟, 王双喜

(汕头大学工学院, 广东 汕头 515063)



王双喜

摘 要: 随着人们生活质量的提高以及电饭锅行业技术的不断创新, 电磁加热电饭锅正在逐步取代传统的电阻加热电饭锅。近年来, 中国人天价抢购日本电磁电饭锅掀起了高档电饭锅研制的热潮。内胆作为电饭锅的关键部件, 是决定电饭锅品质的核心要素, 选择合适的内胆材料, 对电饭锅内胆的导热性、稳定性和安全性都具有十分重要的影响。综述了国内外电磁电饭锅行业的发展现状, 简要介绍了电磁电饭锅的加热原理。按照内胆材料的种类, 重点总结了常见电磁电饭锅内胆的制造工艺和应用特点, 并对电磁锅陶瓷内胆的应用进行了展望。

关键词: 电磁加热; 电饭锅; 内胆; 陶瓷; 石墨

中图分类号: TM271 文献标识码: A 文章编号: 1674-3962(2018)06-0469-07

Development of the Material Technology of Inner Pot for Induction Heating

HUANG Yongjun, LAN Haifeng, LI Shaojie, ZHANG Wei, WANG Shuangxi
(College of Engineering, Shantou University, Shantou 515063, China)

Abstract: With the improvement of people's quality of life and the technology innovation in the field of rice cooker, the traditional resistance heating technology is gradually replaced by induction heating technology. Recently, Chinese customers snapping up Japanese rice cooker with induction heating promotes the development of upscale rice cooker in China. As the main component of the rice cooker, inner pot has great influence on the quality of the rice cooker. Due to the special characters of thermal conductivity, chemical stability and food safety, the materials of inner pot play a key role on the cooking effect. In this paper, the development of rice cooker with induction heating was outlined, and the heating principle of rice cooker with induction heating was also introduced briefly. Especially, according to the kinds of inner pot's materials, the manufacturing technologies of the inner pot with different material were highlighted. Meanwhile, the application of earthenware pot for induction heating was prospected. It is the trend to use the environmental friendly non-metallic inner pot for the rice cookers. Depending on its superiority in fabrication technology and cost, the earthenware pot for induction heating will occupy more and more market share in induction heating rice cooker.

Key words: induction heating; rice cooker; inner pot; earthenware; graphite

1 前 言

电饭锅又称作电饭煲, 是一种利用电能转变为热能, 对食物进行蒸、煮、炖、煨、焖等多种功能的炊具, 具有使用方便、清洁卫生等优点。世界上第一台电饭锅是

由日本东芝公司于 1950 年发明的, 1976 年湛江市家用电器工业公司也研制出中国第一台简易电饭锅^[1]。由于电饭锅方便实用, 现在几乎每个中国家庭都有一个电饭锅, 电饭锅成为现代社会最受欢迎的家用电器之一。

随着人民生活水平的不断提高, 老百姓对厨房电器的要求正在逐步从“使用”向“享用”演化, 现代人的饮食观念逐渐向健康、营养、环保靠拢^[2]。特别是近几年来“节能减排、绿色低碳”的理念深入人心, 电磁感应加热(induction heating, 简称为 IH)电饭锅正逐渐取代传统电阻加热电饭锅而成为市场新宠^[3, 4]。其中, 内胆作为电饭锅的核心部件, 直接影响电饭锅的品位和蒸煮水平。日本政府观光局的数据显示^[5], 2014 年访日外国游客

收稿日期: 2017-05-29

基金项目: 广东科技计划项目(2014B090908001); 广东省创新强校基金项目(923-3803016502); 2017 年广东大学生科技创新培育专项资金项目(编号: pdjh2017a0193)

第一作者: 黄永俊, 男, 1992 年生, 硕士研究生

通讯作者: 王双喜, 男, 1965 年生, 教授, 硕士生导师, Email: sxwang@stu.edu.cn

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.2018.06.09

中,中国内地游客占比高达 17.96%。中国人天价抢购日本电磁电饭锅几成新闻热点,最核心的原因之一就是日本特有的先进内胆材料技术^[6]。目前国内常用的电磁电饭锅内胆材料有不锈钢、铁、铝、铜等,随着 IH 技术和电饭锅内胆材料技术的发展,电饭锅内胆材料正由传统的金属材料逐渐向非金属材料演变。绿色环保、烹调时能保持食物原滋原味的碳材料、陶瓷内胆相继在 IH 电饭锅上获得应用。

2 电磁电饭锅行业的发展现状

IH 技术^[7],来源于法拉第发现的电磁感应现象,即交变的电流产生交变的磁场,当交变的磁场因为导体中磁通量变化时产生感应电流使得导体产生热量。电磁感应加热技术相比于传统的火焰加热和电阻加热,具有效率高、无明火、加热快速、节能、安全、清洁和精确控制加热等优点^[8]。从其推出以后便得到工业界的青睐,并因为其特有的加热特点相继在医疗和饮食工业等领域得到应用^[9, 10]。

作为电饭锅技术革新的领路人,日本家用电器电子研究试验室用电磁感应加热方式取代传统的电阻加热方式并在 1988 年率先实现 IH 感应加热式电饭锅的商品化^[11]。1989 年松下电器利用电磁加热技术的优越性实现了电饭锅加热功率的变频控制,而且可以精确地控制各个烹饪阶段的温度^[12]。1999 年电磁加热技术逐渐被中国企业顺德格兰仕电器厂有限公司应用到电饭锅领域,有效地提高了电饭锅的加热效率^[13]。

IH 技术成功引入到电饭锅领域后, IH 技术和 IH 电饭锅内胆材料的开发成为行业竞争的重点。IH 技术应用的初期,电饭锅的发热基材主要是不锈钢,且只在内胆的底部进行电磁加热,因此整体来看,内胆的发热面积小、受热不均匀。1997 年,松下通过引入多级线圈实现了对整个内胆环绕加热^[14],使得内胆发热面积变大、加热更均匀,但不锈钢内胆导热性差。2000 年,三洋电机尝试采用导热性远远超出不锈钢的铜材料制成电饭锅内胆^[15]。然而铜的 IH 加热特性差,加热效率不高,所以三洋电机随后开发出铜、铝合金和不锈钢材质复合的多层锅^[16],有效地改善了内胆的导磁性、导热性和加热均匀性。多层复合内胆的制备工艺复杂、成本高,日本象印用具有导热性适中、蓄热性和导磁性优良的铁制材料作内胆^[17],该产品因为性价比高受到人们的欢迎。2005 年,日本三菱首次发明了金属以外的电磁加热锅,即用纯度 99.9% 的炭切削加工制作“本炭釜”^[18]。炭是热传递的优良基材,用炭材料作为锅的基材成为划时代的技术进步。

在逐渐完善 IH 技术和内胆材料技术的同时,各厂商也将多种技术应用到 IH 电饭锅来改善米饭的口感。2002 年,三洋电机研发出“可变压力 IH 煮饭方式”^[15],通过在煮饭的沸腾过程中反复进行加压至 1.2×10^5 Pa 和减压的操作,使米饭不断翻滚,受热更均匀。2003 年,松下进一步将蒸汽技术运用在电饭锅中,研发了蒸汽 IH 电饭锅^[19]。蒸汽技术的应用,为电饭锅烹煮后半程时米饭的保湿与保温问题提供了全新的解决思路。2006 年, Matsuka 通过在内胆中设置真空层使得热量保持在锅的内部,开发了真空压力 IH 电饭锅^[20],在有效降低能耗的同时提高了内胆的保温性能。2011 年,日立创造性地糅合了“真空隔热”和“蒸汽压力”两大技术^[21],为美味的米饭创造了一个全新标准。随着互联网技术的普及, IH 电饭锅越来越智能化、亲民化,例如松下推出了加载 WIFI 控制功能的 IH 电饭锅^[19],小米推出支持手机 APP 智能控制的 IH 压力电饭锅等^[6]。

由于 IH 感应加热方式具有效率高、无明火、加热快速、安全、清洁和精确控制加热等优点,从其推出以后便立即得到各企业和消费者的青睐。据尚普咨询数据显示^[22],2016 年,日本 IH 电饭锅销量占比已达到 90% 以上。因为收入水平差距和消费者认知度低的原因,我国在电饭锅产品结构上始终落后日韩很多, IH 电饭锅和智能电饭锅的普及率远低于日韩。但自 2014 年开始,传统小家电龙头苏泊尔、九阳、美的相继发布 IH 产品,2016 年小米高调宣布进入电饭锅领域,同时,格力、爱仕达等众多厂商也纷纷推出 IH 电饭锅,中国电饭锅行业已经着手产品的结构升级。

3 电磁电饭锅的加热原理

电磁电饭锅的加热原理是通过向 IH 线圈输入高频电流,在线圈周围产生交变的磁场,当电磁电饭锅内胆放入到这个交变的磁场中时,内胆在高频磁场的作用下产生诱导电流,此时由于电流的热效应而产生热量,进而实现对内胆的加热。电磁电饭锅加热原理如图 1 所示^[1]。

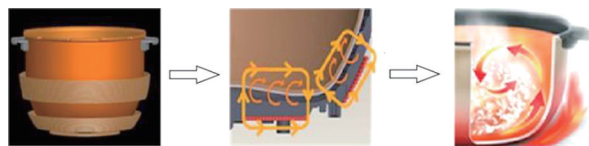


图 1 电磁电饭锅加热原理示意图^[1]

Fig. 1 Schematic of induction heating principle of rice cooker^[1]

热产生机理主要取决于材料特性,主要包括焦耳损耗发热、电介质损耗发热和磁滞损耗发热^[23]。焦耳损耗发热是由导电材料固有电阻产生,发热量主要取决于导

电材料的长度、电阻率和横截面积；电介质损耗发热是由基体材料在导电材料之间形成的电势差下充当电容产生的，在导电材料之间会发生电荷移动和分子转动，从而产生热量；磁滞损耗发热是当磁性材料处于交变磁场中时，其中的磁偶极子或磁畴发生重排，产生转动和振动而引起摩擦发热。因此，电磁感应加热要求被加热材料必须具备导电性或导磁性，电磁感应加热是一个集电场、磁场、热场多重物理作用的复杂过程^[24]。

4 电磁电饭锅内胆

内胆作为电饭锅的关键部件，是决定电饭锅品质的核心要素，直接影响电饭锅行业的核心竞争力，因此内胆成为各品牌产品在市场中进行差异化竞争的重点。对于电磁电饭锅，选择合适的内胆材料，对电饭锅内胆的导热性、稳定性和可靠性都具有十分重要的影响。目前，

国内外电磁电饭锅内胆主要有不锈钢内胆、复合内胆、铁质内胆、IH 砂锅内胆以及炭内胆等种类。

4.1 不锈钢内胆

不锈钢根据不同的金相组织分为奥氏体、马氏体和铁素体等种类^[25]。奥氏体(如 304)不锈钢机械性能好、耐腐蚀性强，但是没有磁性；马氏体不锈钢脆而硬，主要用于蒸汽轮机叶片、餐具、外科手术器械等；铁素体不锈钢导热系数大、膨胀系数小且具有良好的导磁性能，是电磁电饭锅内胆的常用材料。目前市场上的不锈钢内胆主要采用铁素体不锈钢冲压成型，具有成本低、制备工艺简单、适于批量生产等优点。图 2 所示为不锈钢内胆的制备工艺：首先将不锈钢板冲压成一块一定尺寸的圆形，然后用压力机将圆形的不锈钢板冲压成锅体锥形，最后将锅的上沿进行向外侧卷边、压实和修边，表面经酸洗、抛光处理，即得到不锈钢内胆。

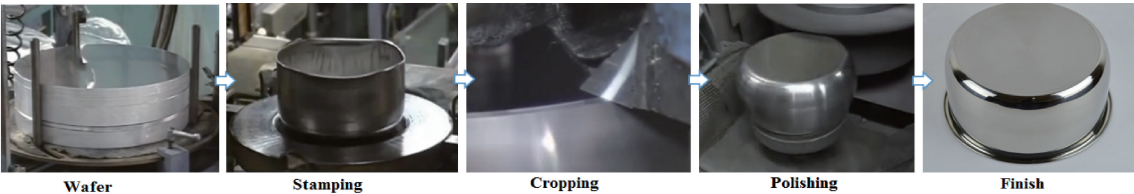


图 2 不锈钢内胆的制备工艺^[26]

Fig. 2 Fabrication process of stainless steel inner pot^[26]

不锈钢内胆具有外观漂亮、耐腐蚀、易加工等优点，是炊具市场的主流产品。不锈钢内胆不需要进行表面保护，可直接与食物接触使用，具有较理想的安全性^[27]。但不锈钢的表面抗粘性较差，煮饭时容易粘锅，且不锈钢的导热性能较差，加热时锅内区域温度过高容易使食物烧焦。因此，单层不锈钢内胆目前只在低端市场使用。

4.2 复合内胆

不锈钢的导热系数为 $16\sim 27\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，铝的导热系数为 $220\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ^[28]。为了改善单层不锈钢锅具导热不均匀、传热慢等不足，众多品牌的不锈钢内胆采用了复合底结构，将高导热的铝金属与不锈钢复合，提高锅体导热性和加热均匀性^[29]。

不锈钢复合内胆结构如图 3 所示。不锈钢内胆复合底外层为导磁率高的 430 不锈钢，中间层是热导率高的纯铝，内层为机械性能好、耐腐蚀性强的 304 不锈钢。不锈钢和铝材之间通过加热及加压使表层金属原子互相渗透融合在一起制成复合板，然后通过模具及压力机将复合板冲压成型，最后经酸洗、喷砂和机械抛光处理后

得到不锈钢复合内胆。不锈钢复合内胆综合了不锈钢和纯铝各自的优越性能，有效地改善了单层不锈钢内胆的导热性和加热均匀性。

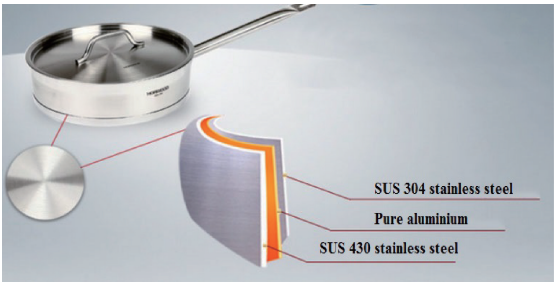


图 3 不锈钢复合内胆结构^[30]

Fig. 3 Structure of stainless steel composite inner pot^[30]

纯铜的热传导率近乎铝的 2 倍^[31]，能使锅体传热更快、更均匀，但铜质内胆在反复使用过程中容易析出有毒的铜离子，因此，铜不能作为锅体的里层直接与米饭接触。三洋电机开发了以铜为主导热层的多层内胆，其复合结构如图 4 所示^[32]。

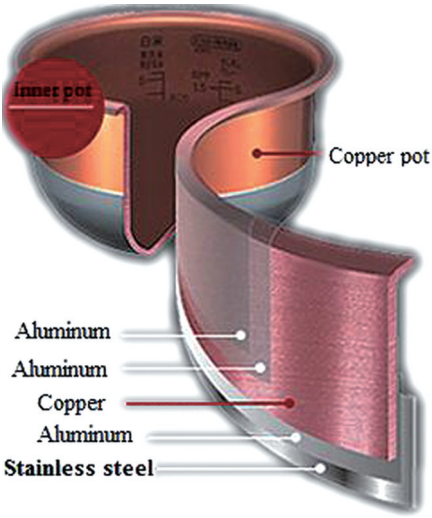


图 4 铜复合内胆结构^[32]

Fig. 4 Structure of copper-based composite pot^[32]

这种以纯铜为主导的多层复合内胆，外层的导磁不锈钢实现内胆的电磁加热功能，中间层为纯铜，由于铜的导热更加均匀，再加之立体式加热功能，使得米饭受热更均匀，里层的铝合金经过阳极化表面处理可以使电

饭锅不粘锅，非常方便清洗。

4.3 铁质内胆

多层复合内胆的制备工艺复杂、成本高，日本象印公司用具有导热性适中、蓄热性和导磁性优良的铁质内胆取代不锈钢与多层内胆，并命名为“南部铁器极羽胆”^[33]。该内胆从形状上模拟了日本传统的柴火锅的结构，内胆口宽而浅，可加强对热流，能够更加高效地将热量传导至米饭，使米饭受热更充分，很好地还原传统柴火土灶煮出的米香。为了克服传统铁锅易锈蚀的问题，对铁锅表面进行了防锈处理^[34]。南部铁器极羽胆制备过程如图 5 所示。

南部铁器极羽胆使用了在日本铁器界享誉盛名的“南部铁器”，铁质内胆用于烧煮时，二价铁离子会不断释放到食物中，这有利于人体吸收铁质，可预防贫血。且铁器本身有细微的凹凸和孔隙，更容易在锅体表面产生气泡，在烹饪中使食物受热均匀，保留食物的鲜美滋味。铁锅是中国传统的烹饪器具，2016 年，适用于 IH 电饭锅的灰铸铁内胆也在我国应运而生。灰铸铁内胆表面经过施釉和涂层处理，有效解决了铁锅的生锈问题，其性价比更有优势，制备工艺如图 6 所示^[35]。

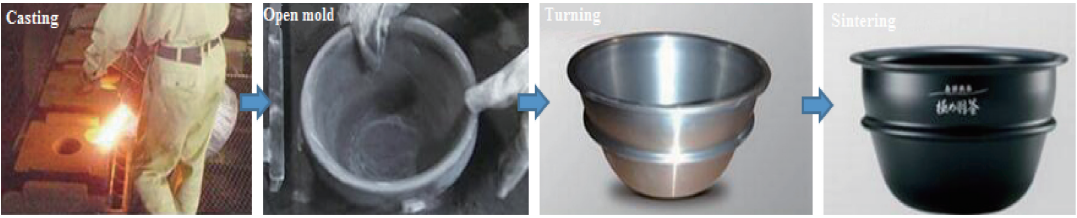


图 5 南部铁器极羽胆制备过程^[34]

Fig. 5 Fabrication process of the nambu cast ironware^[34]



图 6 灰铸铁内胆制备工艺^[35]

Fig. 6 Fabrication process of gray cast iron inner pot^[35]

灰铸铁内胆首先通过铸造成型，内外表面经过精心切削打磨后，把美国福禄公司的瓷釉喷涂于锅胆外表面，经过 800 ℃ 高温烧结形成防锈搪瓷层；接着将特种合金喷涂在内胆的内表面，形成热喷涂层；最后将高分子粉体涂料静电吸附于内胆表面，经过 405 ℃ 高温固化，形成不粘粉体涂层，表面更加光滑，使内胆更易清理。

4.4 IH 砂锅内胆

陶瓷锅烹调时能保持食物的原汁原味，是健康、环保、安全的烹饪器具之一^[36]。但陶瓷本身不导磁、不导电，因而陶瓷锅一直难以在 IH 电饭锅上获得应用。直到 2006 年，日本虎牌魔法瓶株式会在铜复合内胆的基础上，模仿传统的砂锅工艺，由发热效率高的不锈钢层和导热效率高的铜与铝合金层交替复合构成主体，且采用

接近土锅材质的远红外陶瓷颗粒作为土锅内胆内外侧涂层，有效地提高了内胆的热效率^[37]。在内胆表面喷涂了远红外陶瓷涂层，使得 IH 电饭锅基本上呈现了传统砂锅的优越性能。陶瓷颗粒的表面浮凸，使得该种铜复合内胆不但具备极佳的储热性，而且能均匀地把热量通过远红外辐射到内胆中的食物，内胆中的温度场更均匀一致。早期的虎牌金属复合土锅内胆结构如图 7 所示。

然而这种金属复合型土锅内胆，由于金属与陶瓷的热膨胀系数相差较大，其制造工艺复杂、反复循环加热也易导致表面层脱落，制造成本高、使用寿命低。随着 IH 发热技术的进步，2015 年，虎牌推出了具有高性价比的全粘土 IH 电饭锅^[39]，该电饭锅使用与日本土锅相同

的粘土作为内胆材质，其制备工艺如图 8 所示。

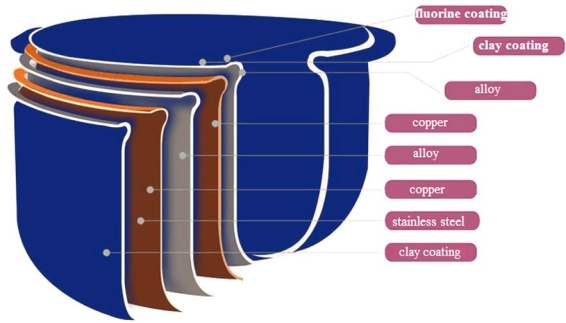


图 7 金属复合土锅内胆结构示意图^[38]

Fig. 7 Schematic of structure of metal-clay composite pot^[38]



图 8 全粘土土锅内胆的制备工艺^[39]

Fig. 8 Fabrication process of earthenware pot^[39]

这种全粘土土锅内胆经过 3 次煅烧而成。第一次素烧是为了定型，温度控制在 1200~1300℃；上釉后进行第二次烧制，温度控制在 1000℃左右；内胆底部涂上磁性发热体后进行第三次烧制，起到固定发热材料的作用。该内胆从材质上模拟了日本传统的柴火锅，很好地还原了传统柴火土灶煮出的米香。

虎牌全粘土 IH 电饭锅内胆制备工艺复杂，成本难以被普通家庭所承受。本文作者采用传统的滚压成型工艺和一体化高温烧结的方法制备了一种内嵌电磁发热体的

陶瓷胆，其制备工艺如图 9 所示^[40]。首先采用滚压成型工艺制备出底部带凹槽的陶瓷锅坯体，然后将抗高温氧化的电磁发热体放置于坯体凹槽中并用土坯盖封接，接着将陶瓷锅坯体晾干并在其外表面涂上釉料，最后把陶瓷锅坯体置于 1250℃ 的烧结炉中烧成，从而获得内嵌电磁发热体的陶瓷胆。该导磁陶瓷胆通过在底部中间内嵌电磁发热体实现陶瓷锅电磁加热，与虎牌全粘土土锅内胆有着相似之处，但由于一体化高温烧结成型方法的采用，其生产工艺更为简单。

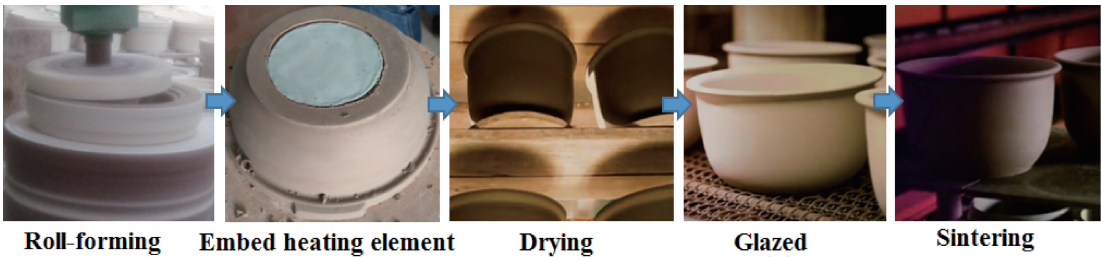


图 9 导磁陶瓷胆的制备工艺^[40]

Fig. 9 Fabrication process of magnetic induction earthenware pot^[40]

4.5 炭内胆

炭内胆的诞生，是烹饪领域划时代的进步。它是人类首次采用高纯度的炭材料制备的烹饪锅具。炭可以在电磁场下发热，且炭的导热系数为 110 W/(m·K)，与

铁素体不锈钢电磁发热体相比，炭材质电阻大、发热率高^[41]。用炭作为锅的基材，整个锅壁都是发热体，而且炭本身有细小的凹凸和孔隙，在蒸饭过程中会产生大的气泡，在米粒之间形成空间，蒸出松软可口的米饭。

炭内胆的制备工艺如图 10 所示。首先，把炭粉与粘结剂混合，通过加压制成圆柱素坯；然后将素坯分两次通过高达 3000 ℃ 的高温高压烧制成纯度为 99.9% 的高强度炭块体材料；接着把烧制好的圆柱切成两半，由熟练

的工匠切割内外面，制成炭内胆坯体；最后在炭内胆坯体表面涂上耐高温不粘涂层封闭炭的孔隙以防止漏水，并使炭内胆美观且米饭容易剥离。

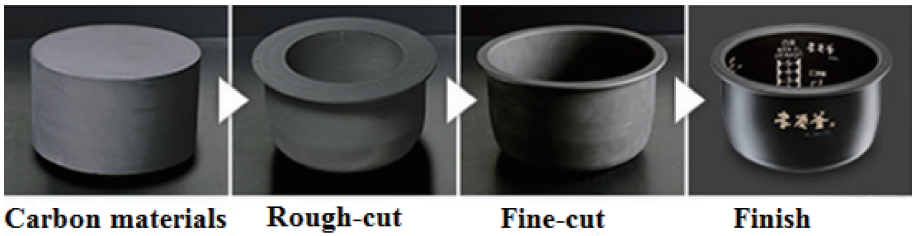


图 10 炭内胆的制备工艺^[42]
Fig. 10 Fabrication process of carbon pot^[42]

由于炭内胆材料的制备工艺非常复杂，烧制温度高达 3000 ℃，而且炭胆的后续加工成型技术对切割工人的要求非常高，产品良品率难以保证，因此 IH 炭内胆价格昂贵，仅适用于高端电饭锅市场。

随着内胆材料技术的进步，2016 年，伊莱特公司用石墨炭材料制作内胆^[43]，由于石墨炭密度小、抗压性能好，故其制造的电饭锅内胆质量轻、强度高，制备工艺如图 11 所示。首先将一定比例的焦煤和石墨分别通过磨

粉机进行磨粉；然后将上述磨粉后的原料进行混料处理，并对混料后的混合物进一步细磨；接着将完成细磨后的混合物放入定型好的模具内进行压制成型；最后将压制成型的内胆进行焙烧至固化定型，焙烧后的内胆经过自然降温的过程，再加温使其石墨化，从而获得石墨炭内胆。该石墨炭内胆采用石墨炭材料压制成型后烧制，与日本炭内胆相比，避免了对高强度炭材料的深加工，产品良品率高，生产工艺更简单。

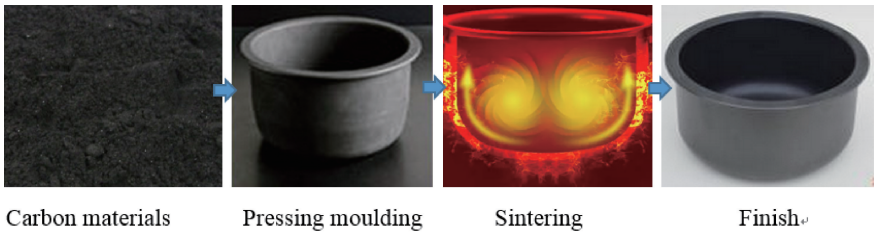


图 11 石墨炭内胆的制备工艺^[43]
Fig. 11 Fabrication process of graphitic pot^[43]

5 结 语

随着人们生活质量的不断提高，对电饭锅的质量、功能要求也愈来愈高。未来，电饭锅将向绿色、节能、养生的方向发展，不断出现的先进材料技术将越来越多地应用于电磁加热电饭锅内胆，尤其是烹调时能保持食物原滋原味、备受国人养生追捧的陶瓷锅。除了诸如虎牌土锅胆等产品外，以传统中国砂锅为基础的陶瓷内胆将因为生产工艺简单、成本低廉的优势在 IH 电饭锅中占有越来越大的市场份额。

参考文献 References

[1] LI Qiang(李 强). *Dissertation for Master(硕士论文)*[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2014.

[2] Sha Z, Ameta G. *ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*[C]. Colorado USA: ASME, 2011: 859–865.
[3] Kim D S, So J Y, Kim D K. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*[J], 2016, 26(4): 1–1.
[4] Yang Wenlong(杨文龙), Wang Chunmei(王春梅). *Electronic Design Engineering*(电子设计工程)[J], 2016, 24(19): 135–138.
[5] Gazette J R. 観光庁 2014 年の訪日外国人旅客数と消費動向調査結果を発表[R]. (2015–06–09) [2017–05–16]. <https://ci.nii.ac.jp/naid/40020350525>.
[6] Zhao Yuchen(赵宇辰), Dan Qing(丹 青). *People's Digest*(人民周刊)[J], 2016, 9(1): 44–45.
[7] Lucia O, Maussion P, Dede E J, et al. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* [J], 2014, 61(5): 2509–2520.
[8] Acero J, Burdío J M, Barragan L A, et al. *Industry Applications Magazine IEEE* [J], 2010, 16(2): 39–47.

- [9] Stauffer P R, Cetas T C, Jones R C. *IEEE Transactions on Bio-medical Engineering* [J], 1984, 31(2): 235-251.
- [10] Humza M, Kim B. *Journal of Electrical Engineering and Technology* [J], 2016, 11(5): 1282-1288.
- [11] Nan Z, Nina Z. International Experience in Standards and Labeling Programs for Rice Cookers[R]. (2008-12-22) [2017-05-18]. <https://www.researchgate.net/publication/255204776>.
- [12] Zhu Yongsheng(朱永盛). *Science and Technology*(科技展望) [J], 2015, 17(3): 114-115.
- [13] Chen Jincong(陈锦聪). China, CN1301516 [P]. 2001-07-04.
- [14] 平田由美子. *Journal for the Integrated Study of Dietary Habits* [J], 2002, 13(3): 147-155.
- [15] 松岡哲也. 日本機械學會誌[J], 2011, 113(1105): 940-941.
- [16] Nakamura T. *Journal of the Institute of Electrical Installation Engineers of Japan* [J], 2011, 31(2): 111-114.
- [17] Iwami. *Social Science* [J], 2011, 41(1): 175-198.
- [18] 井坂久夫, 久保田哲正. 三菱電機技報[J], 2006, 80(11): 729-732.
- [19] Li Zengting(李曾婷). *Electrical Appliance* (电器) [J], 2015, 11(12): 69.
- [20] Matsuoka T. *Journal of the Japan Society of Mechanical Engineers* [J], 2010, 113(10): 940-941.
- [21] 鈴木利明, 小島孝之. 日立評論 [J], 2011, 93(10): 662-665.
- [22] Ye Bihua(叶碧华), Liao Zhijing(廖芷菁). IH 电饭煲标准缺失价差最高达百倍[N]. *21st Century Business Herald*(21世纪经济报道), 2016-05-24(016).
- [23] Ahmed T J, Stavrov D, Bersee H E N, *et al. Composites Part A, Applied Science & Manufacturing* [J], 2006, 37(10): 1638-1651.
- [24] Yuan Jinglan(袁静兰), Zhang Youchen(张有忱), Tan Jing(谭晶). *Industrial Heating*(工业加热) [J], 2016, 45(3): 33-37.
- [25] Zhang Xiang(张翔), He Hao(何浩), Li Yimin(李益民), *et al. The Chinese Journal of Nonferrous Metals* (中国有色金属学报) [J], 2015, 25(04): 945-951.
- [26] 走进工厂, 带你了解不锈钢锅是怎么造的[EB/OL]. (2016-10-26) [2017-06-20]. <http://v.360kan.com/sv/cojIOW4sTxDzTS.html>.
- [27] Schacht P F, Schmidt E V. US, 8618037B2 [P]. 2013-12-31.
- [28] 日本機械学会. 材料学・工業材料(機械工学便覧応用編 B4) [M]. 日本機械学会, 1998: 2-7.
- [29] Zhu Xuxia(朱旭霞), Yuan Gecheng(袁鸽成), Li Zuojian(黎祚坚), *et al. Hot Working Technology* (热加工工艺) [J], 2000, 1(1): 38-40.
- [30] Horwood. HORWOOD 304 不锈钢煎炒锅[EB/OL]. (2016-03-30) [2017-05-20]. <https://item.jd.com/1011427179.html>.
- [31] Wang Wenjun(王文君), Wang Shuangxi(王双喜), Zhang Dan(张丹), *et al. Materials Review*(材料导报) [J], 2016, 30(17): 44-50.
- [32] SANYO. SANYO 压力 IH 电饭煲「匠純銅 おどり炊き」(5.5 合炊き)(プレミアム白色) ECJ-XP10(W) [EB/OL]. (2008-03-30) [2017-06-20]. <http://goods1.moximoxi.net/goods-B000UVL50S.html>.
- [33] 谷口佳菜子, 小島大輔, 城前奈美, *et al. 長崎国際大学論叢* [J], 2014, 3(14): 43-49.
- [34] 象印(ZOJIRUSHI) 压力 IH 电饭煲 NP-SS10-BP プライム 黒色 NP-SS10-BP [EB/OL]. (2014-08-14) [2017-06-20]. <http://goods1.moximoxi.net/goods-B005FT3H6U.html>.
- [35] Cai Donghai(蔡东海). 米家压力 IH 电饭煲到手评测[EB/OL]. (2016-03-30) [2017-05-20]. http://cnews.chinadaily.com.cn/2016-03/30/content_24185093_9.html.
- [36] Li Wenqian(李文茜), Liu Zijian(刘子建). *Journal of Ceramics* (陶瓷学报) [J], 2015, 36(3): 311-315.
- [37] Manabu M. *Transactions of the Academic Association for Organizational Science* [J], 2015, 4(1): 182-187.
- [38] 【经验】日本电饭煲到底好在哪里? [EB/OL]. (2015-10-26) [2017-05-20]. <http://www.niubb.net/a/2015/05-03/396485.html>.
- [39] Tiger Corporation. 虎牌 TIGER 正品日本原装进口 JKL-T15C 土锅 IH 电饭煲[EB/OL]. (2015-01-07) [2017-06-20]. <http://item.yhd.com/item/35535105>
- [40] Wang Shuangxi(王双喜), Huang Yongjun(黄永俊), Wang Wenjun(王文君), *et al. China*, CN201610655184.4 [P], 2016-08-11.
- [41] Sun T M, Dong L M, Wang C, *et al. New Carbon Materials* [J], 2013, 28(5): 349-354.
- [42] 宮尾学. 三菱電機株式会社「本炭釜 NJ-WS10」の開発[R]. (2013-03-28) [2017-05-20]. <https://ci.nii.ac.jp/naid/120005229410>.
- [43] Wu Jinning(吴津宁), Yang Guangliang(杨广良), Han Yongli(韩永立). China, CN106145949[P]. 2016-08-12.

(编辑 吴锐)